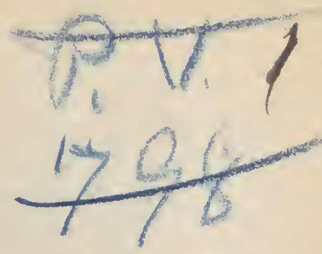


UEBER

DAS GESETZ DES MUSKELSTROMES

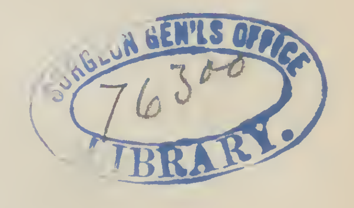
MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES

M. GASTROKNEMIUS DES FROSCHES.

VON

E. DU BOIS-REYMOND.

(ABGEDRUCKT AUS REICHERT'S UND DU BOIS-REYMOND'S
ARCHIV U. S. W. JAHRGANG 1863, HEFT 5. u. 6.)



BERLIN.

DRUCK VON GEBR. UNGER, KÖNIGL. HOFBUCHDRUCKER.



Inhalt.

Zweite Abtheilung.

Vom Strom des querdurchschnittenen M. gastroknemius des Frosches.

Dritte Abtheilung.

Vom Strom der mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches.

Schlussbemerkungen.

Ueber das Gesetz des Muskelstromes, mit besonderer Berücksichtigung des M. gastroknemius des Frosches.

Von

E. du Bois-Reymond.

(Hierzu Taf. XIV. und Taf. XV.)

Einleitung.

§. I.

Hr. Budge hat gegen das Gesetz des Muskelstromes einen Angriff gerichtet, der jedoch auf einem Missverständniss beruht, indem er das Gesetz an einem unregelmässig gestalteten Muskel, dem Gastroknemius des Frosches, bestätigt finden will.

Unter dem Aufsehen erregenden Titel: „Beweis, dass das Dubois'sche Gesetz vom Muskelstrom unhaltbar ist, geführt von Julius Budge, Professor in Greifswald", hat dieser Physiologe am 1. Juni 1861 in der Deutschen Klinik[1]) einen Aufsatz veröffentlicht, worin er, durch Versuche am Gastroknemius des Frosches, zu zeigen glaubt, dass das von mir vor zwanzig Jahren aufgestellte Gesetz des Muskelstromes in fast allen Puncten vollkommen falsch sei, und dass ich einen sehr wichtigen, höchst wahrscheinlich den wichtigsten Theil der elektromotorischen Thätigkeit der Muskeln übersehen habe.

In der That lässt Hr. Budge von dem Gesetze des Muskelstromes nichts bestehen, als die Positivität des Längsschnittes gegen den künstlichen Querschnitt. Den so erhaltenen Strom will er den künstlichen Muskelstrom genannt wissen. Er

1) A. a. O. No. 22. S. 207—210.

leugnet, dass die sehnigen Ausbreitungen als natürliche Querschnitte der Muskeln zu betrachten, und als solche negativ gegen den Längsschnitt seien. Die Wirkungen, die man von einem unversehrten Muskel erhält, leitet er von einem „polaren Gegensatze“ seiner beiden Enden ab, vermöge dessen von zwei Puncten, z. B. des Gastroknemius des Frosches, der höhere sich stets positiv [1]) gegen den tieferen verhalte, und zwar um so stärker, je weiter die beiden Puncte von einander abstehen. Dies sei der natürliche Muskelstrom. Die Ströme, die ein Muskel zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt giebt, betrachtet Hr. Budge als die algebraische Summe jenes künstlichen und dieses natürlichen Muskelstromes.

Die Fehler der Beobachtung und der Schlussfolge, die Hrn. Budge zu diesen Sätzen geführt haben, sind so auffällig, dass ich zuerst glaubte, seinen Angriff auf sich beruhen lassen zu können. Ich rechnete theils auf die bessere Einsicht der Fachgenossen, theils auf die des Hrn. Budge selber, nachdem sich bei ihm der Rausch gelegt haben würde, in den ihn die Vorstellung des über mich errungenen Triumphes versetzt zu haben scheint. Doch hatte ich mich, was Hrn. Budge anlangt, getäuscht.

Die *Medical Times and Gazette* vom 5. October 1861 brachte eine anonyme Correspondenz aus Zürich [2]), in welcher neben Hrn. Moleschott's vermeintlicher Entdeckung einer positiven Schwankung des Nervenstromes im Tetanus [3]) auch der angeblich Hrn. Budge gelungene Umsturz des Gesetzes des Muskelstromes der englischen Gelehrtenwelt als eine ausgemachte Sache und grosse That verkündigt wurde. Da ich in England nicht die gleiche Urtheilsfähigkeit über diese Fragen voraussetzen konnte, wie bei uns, so hielt ich es für gerathen, der Züricher Correspondenz in derselben Zeitschrift entgegenzutreten. Hrn.

1) Hr. Budge selber sagt „negativ“ (S. 209), was aber keinen Sinn bietet.

2) L. c. No. 588 p. 358.

3) Vergl. Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Bd. VIII. 1862. S. 1; — meine Bemerkungen dazu in diesem Archiv. 1861. S. 786; — Joh. Ranke ebendas. 1862. S. 241.

Budge betreffend bemerkte ich kurz, dass sein Angriff auf das Gesetz des Muskelstromes auf einem Missverständniss beruhe. Das Gesetz beziehe sich auf regelmässig gestaltete Muskeln; es am Gastroknemius bestätigt finden zu wollen, sei ebenso unbedacht, als den Schwerpunct eines Kegels oder einer Pyramide in der Mitte der Axe dieser Körper zu suchen, weil dies seine Lage in einem Cylinder oder einem Prisma sei[1]).

Anstatt Hrn. Budge zur Besinnung zu bringen, veranlasste ihn diese Aeusserung nur zu einer Erneuerung seines Angriffes. In einer zweiten vorläufigen Mittheilung in der Deutschen Klinik[2]) hält er mit grösster Schroffheit seine Behauptungen aufrecht, stützt sie durch neue zahlreiche Versuche, und ergeht sich in erstauntem Tadel darüber, dass mir, der ich mich seit zwanzig Jahren mit diesem Gegenstande beschäftige, Erscheinungen fremd seien, die sich ihm beim ersten Blick dargeboten hätten; in der letzten Auflage seines „Lehrbuches der speciellen Physiologie"[3]) aber wiederholt er seine Sätze, und erläutert sie mit einem Aufwand von Abbildungen, auch zu Nutz und Frommen der studirenden Jugend.

Der Ton, den Hr. Budge dabei anschlägt, ist so zuversichtlich, dass ich endlich doch fürchten muss, eine grosse und achtungswerthe Classe von Lesern, welcher der Natur der Dinge nach die Grundlage zu einem selbständigen Urtheil in dieser Angelegenheit nicht ohne Weiteres zur Hand sein kann, möchte sich dadurch beirren lassen. Von verschiedenen Seiten wird mir angedeutet, dass, wenn man auch im Grunde an die Richtigkeit meiner Aufstellungen glaube, man doch nicht ungern vernähme, was ich eigentlich Hrn. Budge zu antworten habe. Bei der Wichtigkeit der Sache will ich daher diesmal den Handschuh aufnehmen, den mir Hr. Budge wiederholt hinwirft[4]). Ich will die Mühe daran wenden, für Jedermann

1) L. c. Dec. 21, 1861. No. 599. p. 647.

2) 25. October 1862. No. 43. S. 415—417.

3) Leipzig 1862. S. 536. 538.

4) S. Hrn. Budge's Aufsätze üb. unipolare Inductionszuckungen und über die Froschhautströme in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1859. Bd. CVII. S. 482. 1860. Bd. CXI. S. 537. — Vergl. über letzteren Auf-

klar an den Tag zu legen, was hinter jener anmassenden Sicherheit steckt, und ich will die Physiologen, die sich dadurch haben imponiren lassen, in den Stand setzen, zu beurtheilen, ob ich so lange schwieg, weil ich nichts zu sagen hatte, oder weil mir nichts daran lag, Hrn. Budge die empfindliche Lehre zu ertheilen, die aus dem Folgenden für ihn hervorgehen wird.

Zuvörderst sei bemerkt, dass Hrn. Budge's Theorie der Muskelströme nicht neu ist und nicht ihm angehört, sondern, wie er aus meinen Schriften hätte lernen können[1]), Hrn. Matteucci, dessen Leistungen Hr. Budge doch sonst mit so dienstbeflissenem Eifer herauszustreichen pflegt. Hrn. Budge's „polarer Gegensatz" der beiden Enden des Gastroknemius ist nichts als Hrn. Matteucci's längst von ihm selber aufgegebener „Courant propre de la grenouille". Da ich im Beginn meiner Forschungen diese Lehre in der Wissenschaft vorfand, so wäre es mir wohl schwer gewesen, die elektromotorischen Eigenthümlichkeiten des Gastroknemius zu übersehen, die Hr. Matteucci durch seinen „Courant propre" erklärte. Ich brauchte nicht erst durch Hrn. Budge darauf aufmerksam gemacht zu werden, und ich werde wohl gute Gründe gehabt haben, jene Lehre zu verwerfen; Gründe, deren Triftigkeit auch überall anerkannt worden ist, wo man sie mit Einsicht und mit Aufmerksamkeit gewürdigt hat.

Seine Versuchsweise beschreibt Hr. Budge so: „Ich habe „die Versuche zuerst nach der früheren Dubois'schen Methode angestellt, indem ich die bekannten Porcellangefässe „mit Platinblechen und concentrirter Kochsalzlösnng, sowie „Kupferdrähte gebrauchte. Später bediente ich mich der „von Hrn. Matteucci angegebenen amalgamirten Zinkdrähte,

---

satz Hrn. Rosenthal's Bericht in den Fortschritten der Physik im Jahre 1860. XVI. Jahrgang. 1862. S. 544.

1) Vergl. im ersten Bande meiner „Untersuchungen" den Paragraphen: „Zur Geschichte des Gesetzes des Muskelstromes", S. 527 ff.; — die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. S. 516 ff.; — 1848. S. 320. 321; — On Signor Carlo Matteucci's Letter to H. Bence Jones etc. London 1853. p. 15. 19.

„einer concentrirten Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd und „Zuleitnngsgefässe (sic) von amalgamirtem Zink. Letztere Vor-„richtnng verdient vor der ersteren bei weitem den Vorzug „und hat wohl auch schon jene gänzlich verdrängt.“[1])

Ich führe dies nicht an, um zu zeigen, wie Hr. Budge die Geschichte der Entdeckung der unpolarisirbaren Elektroden zu meinem Nachtheil entstellt. Bei der Anerkennung, welche mein Antheil daran überall gefunden hat, kann es mir gleichgültig sein, ob Hr. Budge meiner vor der Hand erschöpfenden Untersuchung neben Hrn. Matteucci's unvollständiger und fehlerhafter Angabe gedenkt oder nicht. Es kann mich nur belustigen, wenn er so thut, als müsse er mir gegenüber die Vorzüge des verquickten Zinks zur Geltung bringen, dabei aber durch die Hrn. Matteucci[2]) ganz fremden Zuleitungsgefässe aus verquicktem Zink verräth, dass er mit meinem Kalbe gepflügt hat. Diese Zuleitungsgefässe sind nämlich keine anderen, als die von Hrn. Sauerwald nach meiner Zeichnung verfertigten. Hr. Sauerwald hat dieselben, wie mehrere meiner Apparate, noch ehe ich sie beschrieben hatte, mit meiner Einwilligung verschiedenen Gelehrten, unter anderen Hrn. Budge, geliefert. Dies erklärt, wie sie in Hrn. Budge's oben angeführtem Lehrbuch[3]) im Holzschnitt erschienen, ehe ich selber eine Abbildung davon gab[4]).

Allein es handelt sich hier in der That um etwas ganz anderes. Ich führte jene Stelle wörtlich an, damit man mit Augen sehe, was zu erzählen ich kaum gewagt hätte, dass Hr. Budge es für nöthig hält, auch die Drähte, welche von den Zuleitungsgefässen zum Multiplicator führen, fortan statt aus Kupfer, aus verquicktem Zink zu nehmen. Dass dies wirklich der Fall ist, dass hier kein

1) Erste vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 207.

2) S. die Beschreibung von Hrn. Matteucci's neuester Vorrichtung in Il Nuovo Cimento. Marzo ed Aprile 1861. T. XIII. p. 137.

3) S. 455 Fig. 116.

4) Beschreibung einiger Versuchsweisen und Vorrichtungen zu elektrophysiologischen Zwecken. Aus den Abhandlungen der Königl. Akademie d. Wissenschaften zu Berlin 1862. Berlin 1863. 4. Taf. I. Fig. 1.

zufälliger Irrthum vorliegt, erhellt nicht blos aus einer Stelle in Hrn. Budge's oben S. 523 Anm. 4 erwähntem Aufsatz über die Froschhautströme [1]), sondern damit jeder Zweifel schwinde, sind auch in der Erklärung jenes, einen Multiplicator mit meinen Zuleitungsgefässen vorstellenden Holzschnittes in Hrn. Budge's Lehrbuch S. 455, die den Multiplicator mit den Gefässen verknüpfenden Drähte als „verquickte Zinkdrähte (*d*)" bezeichnet.

Man kann sich denken, welche Noth Hrn. Budge die Brüchigkeit dieser verquickten Zinkdrähte verursachte. Gelungen ist aber, dass er daraus auch Vortheil zu ziehen wusste. Bekanntlich werden die Drähte von den Zuleitungsgefässen nicht unmittelbar zum Multiplicator, sondern zuerst zu zwei am Consol befestigten Klemmen geführt, „damit durch Ziehen an den „Drähten nicht der Multiplicator umgeworfen wird. Ich finde „dies nicht nöthig", bemerkt Hr. Budge vornehm, „da bei „einem solchen ungeschickten Zuge die Zinkdrähte viel zu „rasch zerbrechen würden." [2]) Risum teneatis amici.

Die Vorstellung, dass die Natur der den Multiplicator und die Zuleitungsgefässe verknüpfenden Drähte von Einfluss auf die Polarisation sei, setzt eine solche Begriffslosigkeit des Hrn. Budge in der Elektricitätslehre voraus, dass sich doch wieder die Frage aufdrängt, ob es sich der Mühe verlohne, näher auf seine Einwendungen einzugehen. Würde ein Chemiker bei seinen Fachgenossen Gehör finden, der einen heftigen Angriff auf eine sonst wohlbeglaubigte Lehre damit eröffnete, dass er Kohlensäure verbrennen, oder ein Physiker, der Quecksilber und Wasser gleich hoch im Barometer stehen liesse? Schwerlich. Die heutige Physiologie jedoch nimmt eine solche Mannichfaltigkeit von Kenntnissen in Anspruch, dass bei nur wenig Physiologen eine gleiche Bewanderung in den Grundlagen der verschiedenen Zweige ihrer Wissenschaft vorausgesetzt werden

---

1) A. a. O. S. 538: „Das dazu angewendete Instrument von Hrn. „Sauerwald in Berlin hat 30000 Windungen; die Drähte und Zu„leitungsgefässe sind von verquicktem Zink" u. s. w.

2) Lehrbuch u. s. w. S. 457.

kann. Es ist daher nicht von Jedem zu erwarten, dass ihn beim Anblick der grauenhaften Lücke in Hrn. Budge's elektrischem Wissen, die dieser noch dazu so naiv aufdeckt, der gebührende Schauer überlaufe. Und da nach dem Sprichwort auch das blinde Huhn zuweilen ein Korn findet, so wollen wir uns durch diesen Anfang, wie schlimm er auch sei, nicht davon abschrecken lassen, in die Wildniss einzudringen, die er verspricht.

Noch eine Abänderung fand Hr. Budge für gut, an meinen Vorrichtungen anzubringen. Die Eiweisshäutchen, die ich selber seit geraumer Zeit mit Thonschildern vertauscht habe[1]), ersetzte er durch kleine, mit destillirtem Wasser getränkte Papierröllchen, die einerseits den *Bausch*, andererseits den abzuleitenden Punct des Muskels berührten. Hr. Budge weiss nicht, dass destillirtes Wasser kaum besser leitet, als manche Sorten Glas, und dass es schneller zerstörend auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln wirkt, als bis zu einem gewissen Grade verdünnte Salpetersäure[2]).

Hr. Budge unternimmt nun also, das Gesetz des Muskelstromes auf's Neue zu prüfen. „Um den Gegenstand nicht „zu compliciren", sagt er, „beschäftige ich mich blos mit demjenigen Muskel, welcher in allen physiologischen Versuchen „am häufigsten angewendet zu werden pflegt und von Hrn. „Dubois selbst am meisten gebraucht worden ist, dem M. „gastrocnemius (Dubois, Untersuchungen I. p. 494). Alle „meine Angaben beziehen sich lediglich auf diesen."

Wir sind bei dem Quell von Hrn. Budge's Verirrungen angelangt. Allerdings spielt der Gastroknemius des Frosches in meinen Untersuchungen eine grosse Rolle. Allein ich habe ihn nur gebraucht, um den Einfluss der Zusammenziehung, der Ausdehnung und Zusammendrückung, der Wärme, der Kälte, des Aufenthaltes in der Luftleere und in Gasen, und solcher Umstände mehr, auf die Stärke des Muskelstromes zu erfor-

---

1) Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. S. 92.

2) Kühne, in diesem Archiv. 1859. S. 221. 222.

schen. Mit anderen Worten, bis zur Entdeckung der parelektronomischen Schicht am natürlichen Querschnitt, wodurch er für diesen Zweck entwerthet wurde, war der Gastroknemius mir ein Paradigma des Muskels als Elektromotors, das sich jederzeit leicht, schnell und sicher von möglichst gleicher Beschaffenheit herstellen und bequem verschiedenen Bedingungen unterwerfen liess. In diesem Sinne pries ich an der von Hrn. Budge angeführten Stelle den Gastroknemius und die Dienste, die er uns im Verfolg der Untersuchung leisten werde.

Nie jedoch ist es mir eingefallen, mich des Gastroknemius zur Aufstellung des Gesetzes des Muskelstromes zu bedienen. Vielmehr bestehe ich wiederholt darauf[1]), dass man sich hierzu an die vier mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln, den Rectus internus, Sartorius, Adductor magnus und Semimembranosus Cuv. zu halten habe, und meine Abbildungen stellen laut dem „Nachweis zu den Kupfertafeln", übrigens, sollte ich meinen, auch ohnedies für jeden Kundigen erkennbar, namentlich aber von dem gleichfalls abgebildeten Gastroknemius leicht zu unterscheiden, den Adductor magnus, gelegentlich den Sartorius, in den verschiedenen Lagen auf den Bäuschen vor, die zum Erweise des Gesetzes durchzumachen sind[2]). Ausdrücklich schematisire ich den Muskel, sobald vom Gesetze seiner elektromotorischen Thätigkeit die Rede ist, in Wort und Bild als einen Cylinder, dessen Mantel dem positiven Längsschnitt, dessen Grundflächen den beiden negativen Endquerschnitten entsprechen[3]). Stets auf's Neue schärfe ich ein, dass man nur an Muskeln, die von dieser idealen Gestalt nicht zu sehr abweichen, erwarten dürfe, das Gesetz bestätigt zu finden[4]). Ausdrücklich habe ich bereits in dem ersten Bande meines Werkes, S. 512. 513 (vergl. dazu Taf. IV. Fig. 33.), hervorgehoben, wie wenig der Gastroknemius diese Bedingung erfüllt. Näher bin ich endlich auf den Bau des Gastroknemius

1) A. a. O. Bd. I. S. 500. 502. 696. 704. 708.
2) Taf. IV. Fig. 29—44. Taf. V. Fig. 50. 51. 77. 78.
3) A. a. O. S. 516. 517. Taf. V. Fig. 46—48. 57.
4) A. a. O. S. 512. 519. 535. 631. 658. 688.

eingegangen in der 1860 erschienenen 1. Lieferung der 2. Abtheilung des II. Bandes der Untersuchungen, S. 349—351[1]). An beiden Stellen habe ich erklärt, weshalb dieser Muskel sowie der ihm ähnliche M. triceps Cuv., unversehrt und mässig parelektronomisch, bei der gewöhnlichen, und bis dahin allein versuchten Art der Ableitung, nur aufsteigend wirke.

Dies Alles ist, wie es scheint, Hrn. Budge unbekannt geblieben, oder für ihn noch nicht deutlich genug gewesen. Wir haben ihm in eine Versuchsreihe am Gastroknemius zu folgen, welche angeblich daran lauter mit dem Gesetze des Muskelstromes unverträgliche Wirkungen aufdeckt. Als Vorbereitung dazu will ich zuerst nochmals den Bau des Gastroknemius schildern, soweit dieser Bau für jetzt elektromotorisch in Betracht kommt.

§. II.

Der Bau des Gastroknemius des Frosches wird in elektromotorischer Beziehung erläutert.

In der Beschreibung des Gastroknemius werden dessen Enden, als stände der Frosch aufrecht, unterschieden als oberes und unteres, seine Flächen als Rückenfläche, Tibialfläche, äussere und innere Seitenfläche.

Die halbschematischen Figuren 1., 2., 3., 4. stellen beziehlich die innere Seitenfläche des linken, die äussere des rechten, die hintere oder Rücken- und die vordere oder Tibial-Fläche des linken Gastroknemius vor. Man erkennt leicht die Theile der Muskeloberfläche, wo natürlicher Längsschnitt herrscht. Die glatten Partieen sind Sehnenausbreitung, unter der natürlicher Querschnitt liegt. In den Seitenansichten bedeutet *D* den Rand, welcher der Dorsal-, *T* den, welcher der Tibialfläche angehört.

Um sich den Bau des Gastroknemius klar zu machen, thut man am besten, sich diesen Bau folgendermaassen entstanden zu denken. Zuerst sei ein ganz kurzer cylindrischer Muskel da, mit sehr schrägen, folglich gestreckt elliptischen Grund-

---

1) Vergl. auch daselbst S. 106, und in den Monatsberichten der Akademie, 1853, S. 120.

flächen, die mit den blattähnlichen Ausbreitungen der oberen Sehne H und der unteren oder Achillessehne A bekleidet sind. (S. Fig. 5.) Die untere, wirklich vorhandene Ausbreitung liegt bekanntlich an der Rückenfläche D des Muskels; die obere denke man sich an der Tibialfläche T gelegen. Nun klappe man in Gedanken die obere Ausbreitung in ihrer Durchschnittslinie $\Gamma' K \Gamma_{,}$ mit der Medianebene des Muskels nach vorn zusammen, wie ein Buch, das man zumacht, und lasse ihre beiden Hälften zu einer in jener Ebene befindlichen sehnigen Scheidewand verwachsen, von deren Seitenflächen jede den oberen Enden sämmtlicher Bündel der entsprechenden Muskelhälfte zum Ansatze dient. Bei diesem Verwachsen treffen symmetrisch zur Medianebene gelegene Puncte, wie etwa die mit α', $\alpha_{,}$; β', $\beta_{,}$; ϱ', $\varrho_{,}$ bezeichneten, auf einander. Bündel also, welche von symmetrisch zur Medianebene gelegenen Puncten der unteren zu entsprechenden Puncten der oberen Ausbreitung gingen, wie $a'\alpha'$, $a_{,}\alpha_{,}$, $b'\beta'$, $b_{,}\beta_{,}$, verschmelzen jetzt nach oben zu einer Schleife in Gestalt eines Spitzbogens, die nur in der Medianebene, an der Spitze des Bogens, durch jene sehnige Scheidewand unterbrochen wird. Diese Scheidewand bildet im Verlauf der im Zusammenhang gedachten Bündel beider Muskelhälften gleichsam eine verschwindend kurze Inscriptio tendinea der Art, wie sie die Seitenrumpfmuskeln der Fische als Lg. intermuscularia durchsetzen, nur mit dem Unterschiede, dass bei den Fischen die Bündel beiderseits von der Scheidewand einerlei Richtung haben.

An der Tibialfläche des Muskels (Fig. 4.) kommt die Inscriptio tendinea zum Vorschein in Gestalt eines sehnigen Streifens $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}$, von dem das Fleisch beiderseits wie an einem Musculus bipinnatus nach unten und seitwärts abfällt, und der nach unserer Vorstellung aufzufassen ist als entstanden durch Verschmelzung der seitlichen Ränder $\Gamma\varrho'\Gamma_{,}$, $\Gamma'\varrho_{,}\Gamma_{,}$ der oberen Sehnenausbreitung.

An der Rückenfläche (Fig. 3.) besteht die Ausbreitung der Achillessehne fort, aber sie biegt sich, entsprechend dem Zusammenklappen der oberen Ausbreitung, nach vorn zusammen. Ihr oberer Rand reicht bis nahe an die obere Sehne hinauf.

Sein in der Medianebene gelegener höchster Punct ist mit G', sein tiefster mit $G_{,}$ bezeichnet, weil diese Puncte die Grenze zwischen Längs- und Querschnitt abgeben; der Mittelpunct der Ausbreitung aber mit C. Die entsprechenden Puncte der oberen, fictiven Sehnen-Ausbreitung sind entsprechend griechisch benannt. Die Achillessehnen-Ausbreitung, oder den Sehnenspiegel der Achillessehne, wollen wir in der Folge, wo er eine grosse Rolle spielen wird, der Kürze halber den Achillesspiegel nennen.

Spaltet man die Achillessehne der Länge nach, fasst jede Hälfte mittels einer starken Pincette, und reisst mit einem langsamen und kräftigen Zuge den Muskel auseinander, so gelingt es oft, ihn in zwei Hälften zu spalten, deren jede an der Trennungsfläche im Wesentlichen die in Fig. 6. der äusseren Hälfte entnommene Ansicht bietet. $G'CG_{,}$ ist im Durchschnitt der in der Medianebene zerrissene Achillesspiegel, $\Gamma'K\Gamma_{,}$ das äussere Blatt der sehnigen Scheidewand, welche, als läge unserer Fiction von der Entstehung des Gastroknemiusbaues etwas Wirkliches zu Grunde, die Neigung zeigt, sich in zwei Blätter zu trennen, deren jedes der entsprechenden Muskelhälfte folgt. Kocht man Gastroknemien, bis das Sehnengewebe zu Leim ward, so entsteht an der Stelle der sehnigen Scheidewand ein nach der Tibialfläche offener Spalt, dessen Grund und Wände nichts sind als der nach innen eingestülpte obere natürliche Querschnitt.

An regelmässig gefaserten Muskeln haben im Allgemeinen alle Bündel einerlei Länge, nämlich die des Muskels selber. Fig. 6. zeigt, dass im Gegensatz dazu am Gastroknemius nicht nur die einzelnen Bündel viel kürzer sind als der ganze Muskel, was sich nach dem Vorigen von selbst versteht, sondern dass sie auch verschieden lang sind. Die längsten sind die, welche von dem höchsten Puncte G' des Achillesspiegels an der Rückenfläche des Muskels zur oberen Sehne empor-, die kürzesten die, welche von dem tiefsten Puncte $\Gamma_{,}$ des sehnigen Streifens an der Tibialfläche zur Achillessehne hinabsteigen. Man wird nicht sehr irren, wenn man jenen längsten Bündeln etwa $^{2}/_{7}$, diesen kürzesten nur $^{1}/_{7}$ der Länge des Muskels beimisst.

Um meinen Zuhörern den Gastrokneminsbau zu versinnlichen, habe ich ein Modell verfertigt, welches auch Hrn. Professor Budge sehr nützlich sein würde. Aus Guttapercha bildete ich zuerst die obere mehr blatt-, die untere mehr Löffel- oder Schuhhorn-ähnliche Ausbreitung, hälftete jene der Länge nach, und verband die Hälften mit einem Scharnier. Dann spannte ich zwischen entsprechenden Puncten der beiden Ausbreitungen rothe Wollfäden statt der Muskelbündel aus. Klappt man die beiden Hälften der oberen Ausbreitung wie ein Buch zu, so entsteht ein treues Bild des allgemeinen Faserverlaufes am Gastroknemius.

Von dem geschilderten regelmässigen Bau finden einige Abweichungen statt, welche zwar an sich sehr geringfügig, doch unsere Beachtung verdienen.

Vor Allem ist zu bemerken, dass der Gastroknemius oben zwei Sehnen hat. Die eine stärkere kürzere dieser Sehnen, welche den Namen der Hauptsehne verdient, daher *H* in den Figuren, liegt zu oberst in der Medianebene und heftet sich mit einem Zipfel an das Femur, mit einem zweiten an die Tibia. An der Tibialfläche (Fig. 4.) erscheint sie als die unmittelbare Fortsetzung des sehnigen Streifens $\Gamma_0 \Gamma_1$. Die andere schwächere längere Sehne, die Nebensehne genannt, und deshalb in den Figuren mit *N* bezeichnet, kommt nach unten und vorn von der ersten zwischen den beiden zusammengeklappten Hälften der oberen Ausbreitung hervor, wie ein Lesezeichen aus dem Buche, schlägt sich eine Strecke lang nach aussen und oben um den Muskel, wie dies Fig. 4. zeigt, und löst sich dann von ihm ab, um an der äusseren Seite des Kniegelenkes emporsteigend mit der Kniegelenkkapsel und mit dem äusseren Rande der unteren Sehnen-Ausbreitung des M. triceps Cuv. zu verschmelzen[1]), der sich dadurch an der Streckung des Fussgelenkes betheiligen kann. Die Nebensehne ist Solchen, die sich mit der paradoxen Zuckung beschäftigt haben, wohlbekannt, weil unter ihr fort der N. peronaeus geht, der um die Sehne des M. biceps Cuv. zur äusseren Seite des

1) Dugès (Recherches sur l'Ostéologie et la Myologie des Batra-

Kniees gelangt[1]). Man unterscheidet übrigens am äusseren der beiden Blätter, in die sich die sehnige Scheidewand des Gastroknemius beim Zerreissen spaltet, einen stärkeren Faserzug, der zur Nebensehne geht (Fig. 6.).

Die erste jener Abweichungen besteht nun darin, dass in der Strecke, in der die Nebensehne sich von der Medianebene um den Kopf des Muskels nach aussen wendet, einige vom äusseren Rande des Achillesspiegels entsprungene Bündel sich an sie setzen, welche also ausnahmsweise nicht an der sehnigen Scheidewand endigen. Sie sind in Fig. 4. durch eine Klammer bezeichnet. Wenn in der Folge von der Nebensehne schlechthin die Rede ist, hat man darunter stets nur jene Strecke, mit Ausschluss des vom Muskel gelösten, am Knie emporsteigenden Zipfels zu verstehen.

Als eine zweite Abweichung lässt es sich ansehen, dass, wie dies in Fig. 4. hervortritt, die Scheidewand da, wo sie zur Hauptsehne wird, sich verdickt, so dass die obersten Bündel der beiden Muskelhälften nicht zu einem Spitzbogen verschmelzen, sondern eine sich nach oben erweiternde Lücke zwischen sich lassen, welche die Sehne, gleich dem Schlussstein eines Gewölbes, ausfüllt.

Eine dritte Abweichung endlich besteht darin, dass die beiden Hälften des Muskels, auch abgesehen von der Nebensehne

---

ciens à leurs différens Ages. Paris 1834. 4. pl. VI. fig. 42 et pl. VI *bis*. fig. 42 *bis*. 159.) bildet das Verhalten nicht ganz richtig ab. Eine förmliche Trennung des Muskels in zwei Köpfe, wie er sie darstellt, lässt sich höchstens künstlich dadurch herbeiführen, dass man an der Nebensehne zieht. Richtiger ist die auf die Kröte bezügliche Fig. 57. pl. X. — Rud. Wagner's Abbildung in den Icones zootomicae (Leipzig 1841. Taf. XVII. Fig. 21.) ist von Dugès entlehnt. — Auch die Abbildungen in Carus' Erläuterungstafeln zur vergleichenden Anatomie (Hft. I. Leipzig 1826. Taf. III. Fig. III.) und in Ecker's Icones physiologicae (Leipzig 1851—59. Taf. XXIV. Fig. IV.) geben keinen Begriff von dem in Rede stehenden Verhalten. Zenker's Batrachomyologia (Jenae 1825. Taf. II. Fig. III. 51.) ist hier ganz unbrauchbar.

1) Vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 546; — Abth. II. S. 349; — dazu Taf. V. Fig. 141.

der äusseren Hälfte, nicht ganz symmetrisch sind. Es steigt nämlich die äussere Hälfte an der Hauptsehne etwas höher hinauf, als die innere, wie man gleichfalls noch in Fig. 4. sieht. Ausserdem besitzt diese Hälfte eine grössere Masse, wie die in Fig. 7. abgebildete Ansicht der unteren Hälfte eines querdurchschnittenen linken Gastroknemius lehrt, wo *r'mr*, den Durchschnitt des Achillesspiegels bedeutet. Der Unterschied ist zu gross, um ihn von den Bündeln herzuleiten, die sich an die Nebensehne heften. Seinen wahren Grund erkennt man bei Betrachtung der Tibialfläche (Fig. 4.), noch besser wenn man den Muskel jener Fläche parallel (frontal) durchschneidet. Fig. 8. zeigt die vordere Fläche eines solchen Abschnittes vom linken Gastroknemius. Man gewahrt, wie beiderseits die Bündel unter demselben Winkel, und folglich in gleicher Anzahl, an die Scheidewand stossen, wie aber aussen die Bündel um etwa ein Drittel länger sind als innen. Die äussere Gastroknemiushälfte hat somit, bei gleicher Kraft mit der inneren, einen grösseren Hub als diese; mit welchem Erfolge für die Mechanik des Froschbeines, ist nicht leicht zu sagen.

Es folgt beiläufig hieraus und aus dem Vorigen, dass der Gastroknemius schlecht zu Versuchen passt, wobei es auf genaue Feststellung der mechanischen Leistungen der Muskelbündel ankommt, da die einzelnen Gastroknemiusbündel, vermöge ihrer verschiedenen Länge, durch ein der Achillessehne angehängtes Gewicht verschieden gedehnt werden, und sich bei der Verkürzung verschieden an dessen Hebung betheiligen.

Erste Abtheilung.

Vom Strom des unversehrten M. gastroknemius des Frosches.

§. III.

Aus dem Bau des Gastroknemius werden nach dem Gesetz des Muskelstromes die elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Muskels vorhergesagt.

Es wird unser Geschäft erleichtern, wenn wir sogleich noch versuchen, aus dem Bau des Gastroknemius seine elek-

tromotorischen Wirkungen, zunächst nur im unversehrten Zustande, vorherzusagen, wie sie sich nach dem Gesetz des Muskelstromes gestalten müssen.

Nach diesem Gesetz verhält sich der Längsschnitt stark positiv gegen den Querschnitt; am Längsschnitt verhält sich jeder vom Querschnitt entferntere Punct schwach positiv gegen jeden dem Querschnitt näheren; ebenso am Querschnitt jeder dem Längsschnitt nähere Punct schwach positiv gegen jeden davon entfernteren. An regelmässig gefaserten Muskeln, deren Untersuchung dies Gesetz entnommen ist, lässt sich somit zwischen zwei negativen Basalzonen, den beiden Querschnitten, eine positive Mantelzone, der Längsschnitt, unterscheiden. An jedem Querschnitt findet sich sodann ein Punct, oder eine Reihe von Puncten, welche, als am weitesten vom Längsschnitt, am negativsten sind. Dies sind die Pole des Muskels. Umgekehrt der Inbegriff der Puncte des Längsschnittes, welche am weitesten von beiden Querschnitten, und deshalb am positivsten sind, ist der elektromotorische Aequator. Der Aequator setzt also zwei Pole voraus, zwischen denen er die Mitte halte; zwei Puncte von unter sich gleicher elektrischer Beschaffenheit, von welcher die Beschaffenheit seiner eigenen Puncte um gleich viel und am meisten abweiche, indem sie sich nach irgend welchem Gesetze nach jenen Puncten hin abstuft. Die Verknüpfung eines Aequatorpunctes mit einem Pol liefert bei gleichem Widerstande den stärksten Strom; und zu einem Punct diesseits des Aequators giebt es stets einen gleichartigen Punct jenseits des Aequators auf der anderen Muskelhälfte. Sehen wir zu, wieviel von diesen Regeln noch auf den Gastroknemius passe.

Aus unserer Zergliederung folgt, dass am oberen Ende des Gastroknemius kein freier Querschnitt oder keine negative Begrenzung da ist. Zwei Stellen zwar machen hiervon eine Ausnahme, erstens die Nebensehne, insofern sie den oberen natürlichen Querschnitt einer Anzahl von Bündeln überzieht, zweitens die Hauptsehne selber, weil darunter einige Bündel nicht mit ihren oberen Enden spitzbogenförmig zusammenstossen. Diese Stellen sind indess so klein, dass sie für

jetzt keine Beachtung verdienen. Wird dem Muskel ein Bausch so angelegt, dass eine derselben oder beide in die Berührungsfläche fallen, so kann dies nur bewirken, dass die Fläche etwas negativer erscheint, als wäre in gleicher Entfernung vom Querschnitt reiner Längsschnitt berührt worden.

Sieht man also hiervon ab, so ist klar, dass im Gegensatz zu regelmässig gefaserten Muskeln am Gastroknemius nur Eine positive und Eine negative Zone vorhanden sind, von denen jene den Muskelkopf einnimmt und sich der Tibialfläche entlang bis zur Achillessehne hinabzieht, diese den grösseren Theil der Rückenfläche und der beiden Seitenflächen, gleichfalls bis zur Achillessehne hinab, ausmacht (s. die Figuren). Der Gastroknemius als Elektromotor ist im Grossen und Ganzen nicht, gleich den regelmässig gefaserten Muskeln, nach peripolarem, sondern nach dipolarem Schema gebaut.

Es kann also auch daran von keinem elektromotorischen Aequator im gewöhnlichen Sinne die Rede sein. Dazu fehlen die beiden negativen Pole[1]), zwischen denen er die Mitte halten könnte. Sondern es findet hier dasselbe statt, wie an einem Muskel, den man so zusammengebogen und dann schräg durchschnitten hat, dass die beiden Hälften gleich den Schenkeln eines geschlossenen Zirkels an einander, die beiden Querschnitte in Einer Flucht liegen (s. Fig. 9.)[2]). Die Puncte des Längsschnittes $\Gamma'\varrho\Gamma_{\prime}K$, die früher Aequator waren, haben die Bedeutung eingebüsst, elektrisch die Mitte zu halten zwischen zweien Puncten an den Enden des Muskels. Dagegen haben diese Puncte von den Eigenschaften des Aequators noch die

1) Es liegt kein wirklicher, nur ein scheinbarer Widerspruch darin, wenn gesagt wird, der Gastroknemius sei nach dipolarem Schema gebaut, und zugleich, es fehlen an ihm die beiden Pole, an deren Vorhandensein das eines Aequators geknüpft sei. Der scheinbare Widerspruch rührt daher, dass bei der ersten Behauptung das Wort Pol im elektrischen oder physikalischen, bei der zweiten im geographischen oder geometrischen Sinne genommen ist.

2) Den entsprechenden Versuch am Nerven s. in meinen Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abtheil. I. S. 252 Taf. II. Fig. 94.

bewahrt, dass sie, als am weitesten vom Querschnitt, am positivsten sind. An der durch das Zusammenbiegen des peripolaren Elektromotors dipolar gewordenen Anordnung tritt der vom Querschnitt entfernteste und somit positivste der früheren Aequatorpuncte, $\Gamma_{,}$, jetzt gleichsam als positiver Pol dem negativen Pol entgegen, den man nach unseren bisherigen Vorstellungen im geometrischen Mittelpunct C derjenigen Begrenzung zu suchen hat, die durch die beiden an einander stossenden Querschnitte gebildet wird.

Nicht anders am Gastroknemius. Sieht man, der Einfachheit halber, von der verschiedenen Masse seiner beiden Hälften ab, und denkt man ihn sich in der Ebene der sehnigen Scheidewand bis auf die Scheidewand gespalten, so dass seine sonst von einander getrennten Hälften nur noch durch die Scheidewand zusammenhängen, so ist der Gastroknemius auf das Schema des zusammengebogenen Muskels zurückgeführt. Die beiden Hälften des Achillesspiegels entsprechen den beiden aneinanderstossenden Querschnitten, die Hauptsehne dem Punct Γ', der Tibialrand $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}$ der sehnigen Scheidewand (Fig. 1. 2. 4. 6.) der in Fig. 9. ebenso bezeichneten Aequatorstrecke, und der ganze vordere, im Muskel verborgene Umfang dieser Scheidewand $\Gamma'\kappa\Gamma_{,}$ (Fig. 6.) der in der Falte des zusammengebogenen Muskels versteckten, in Fig. 9. punctirten und abermals ebenso bezeichneten Aequatorstrecke. Man gelangt so zu der Einsicht, dass, *wenn am Gastroknemius von einem Aequator die Rede sein soll, dieser Aequator in dem Umfang der sehnigen Scheidewand zu suchen sei.* Im Tibialrand $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}$ derselben tritt ein Theil dieses virtuellen Aequators zu Tage. Der vom Querschnitt entfernteste Punct jenes Randes, etwa die Hauptsehne selber, wird am positivsten sein, und gegenüber dem Mittelpunct C des Achillesspiegels als negativem Pol die Rolle des positiven Poles übernehmen.

Von hier aus ist es leicht, die elektromotorische Wirksamkeit des Gastroknemius bei verschiedenen Lagen des ableitenden Bogens im Voraus zu bestimmen, wie sie sich nach dem Gesetze des Muskelstromes gestalten muss, falls nicht unbekannte Verwickelungen dazwischentreten.

Liegt erstens das obere Ende des Bogens dem Längsschnitt oder der positiven Zone, das untere dem Querschnitt oder der negativen Zone an, etwa wie die Bögen 1*a*, 3*a* in Fig. 1. es vorstellen, so muss ein starker aufsteigender Strom erfolgen. Er muss am stärksten sein, wenn das obere Ende die Hauptsehne, das untere den Mittelpunct *C* des Achillesspiegels berührt. Berührt das untere Ende die Achillessehne selber, das obere die Hauptsehne (9. in Fig. 2.), so muss gleichfalls ein Strom im Muskel aufsteigen, da die Achillessehne gleichsam eine Fortsetzung des Bogens bis zur unteren Grenze *G*, zwischen Längs- und Querschnitt abgiebt. Dieser Strom, schwächer als der vorige, müsste abnehmen und zuletzt verschwinden, wenn das obere Ende von der Hauptsehne fort, am Längsschnitt der Rückenfläche herab, bis zu *G'*, der oberen Grenze zwischen Längs- und Querschnitt, gerückt würde, so dass schliesslich der Bogen die Stellung 10. in Fig. 2. erhielte.

Liegen zweitens beide Enden dem Längsschnitt allein an, wie in 3*b* Fig. 1, so muss immer noch ein schwacher aufsteigender Strom zugegen sein, weil das obere Ende weiter vom Querschnitt entfernt ist als das untere.

Liegen drittens beide Enden, wie in 1*b*, dem Querschnitt allein an, so wird auch noch ein schwacher aufsteigender Strom da sein müssen, so lange das obere Ende das dem Längsschnitt nähere bleibt, wie in 2*a*. Haben die Enden des Bogens, wie in 2*b*, eine symmetrische Lage zu *C*, so wird der Strom Null sein müssen.

Soweit muss der Gastroknemius, wenn er einen Strom liefert, stets aufsteigend wirken, wie es in meinen „Untersuchungen" steht (s. oben S. 529), wo ich nur die gewöhnlichen Bedingungen der Ableitung im Auge hatte, über welche mehrere der oben gedachten Fälle, wie 3*b*, 1*b*, 2*a*, 2*b*, schon hinausgehen. Es lassen sich nun aber auch noch besondere Lagen des Bogens angeben, wobei, nach dem Gesetz des Muskelstromes, der unversehrte Gastroknemius absteigend wirken müsste.

Wird der Bogen aus der symmetrischen Lage 2*b* in die 2*c* gebracht, so muss der verschwundene Strom wiederkehren, und

zwar absteigend, weil nun das untere Ende das dem Längsschnitt nähere ist. Liegen beide Enden des Bogens über einander an den seitlichen Rändern des Achillesspiegels, so muss der Strom Null sein, oder auf-, oder absteigen, je nachdem beide Spitzen gleich weit von den Rändern, oder die obere, oder die untere die nähere (6. 7. 8. Fig. 2.).

So müsste man auch, bei hinreichender Kleinheit der Berührungsflächen des Bogens mit dem Muskel, von dem an der Tibialfläche sich bis zur Achillessehne hinabziehenden Streifen Längsschnitt schwache auf- und absteigende Ströme erhalten, je nachdem man den unteren oder den oberen Ableitungspunct näher dem einen Rande des Achillesspiegels wählte (2, 3. Fig. 4.). Bei gleicher Entfernung der beiden Puncte entweder von dem einen Rande, oder von beiden Rändern (1. das.), sollte ein sehr schwacher aufsteigender Strom die Regel sein, weil die Ränder des Achillesspiegels nach oben auseinanderweichen, und das obere Ende des Bogens als dem Längsschnitt etwas näher angesehen werden kann.

Ein starker absteigender Strom müsste aber bei der in Fig. 4. mit 4. bezeichneten Anordnung erfolgen, wobei das obere Ende Querschnitt, das untere Längsschnitt berührt. Dass die mit 5. bezeichnete Lage des Bogens, wobei das Umgekehrte stattfindet, einen starken aufsteigenden Strom liefern werde, bedarf nicht der Erwähnung.

Die parelektronomische Schicht wird bei gleicher und mässiger Ausbildung auf allen Puncten des natürlichen Querschnittes nur die Stärke des Stromes überall proportional vermindern. Bei sehr hoher Ausbildung kann die Richtung des Stromes verkehrt werden. Bei nicht gleichmässiger Ausbildung auf den verschiedenen Puncten des Querschnittes werden mannigfache Störungen der hier dem unversehrten Gastroknemius vorgezeichneten elektromotorischen Wirkungsgesetze denkbar.

Man sieht so deutlich im Einzelnen, was im Ganzen wohl keines Beweises bedurfte, dass eine vollständige Verschiebung der Spannungen an der Muskeloberfläche die tiefe Umwandlung des Baues begleitet, die den Gastroknemius von den regelmässig gefaserten Muskeln trennt; und man ist in Stand ge-

setzt, die Gründe zu würdigen, aus denen ich erwähntermaassen bei der Aufstellung des Gesetzes des Muskelstromes stets den Gastroknemius aus dem Spiel liess.

§. IV.

Hrn. Budge's Beobachtungen am unversehrten Gastroknemius, die er als dem Gesetze des Muskelstromes zuwiderlaufend bezeichnet, stehen damit im vollkommensten Einklang.

Kehren wir zu Hrn. Budge zurück. Ihn kümmert dies Alles nicht. „Um den Gegenstand nicht zu compliciren", wählt er zur Prüfung des Gesetzes des Muskelstromes, meiner Warnungen ungeachtet, unter allen Muskeln gerade den Gastroknemius. Es ist ja „der in allen physiologischen Versuchen „am häufigsten gebrauchte Muskel." Mit Hülfe des Gastroknemius hat ja Hr. Schwann die Abnahme der Kraft des Muskels mit wachsender Verkürzung, Hr. Helmholtz den zeitlichen Verlauf der Zusammenziehung und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung im Nerven, Hr. Pflüger die Veränderungen der Erregbarkeit im Elektrotonus und das Gesetz der Zuckungen, Hr. Munk den Einfluss der Nerven auf das Absterben der Muskeln, Hr. L. Hermann die Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Stärke des Reizes, Hr. Georg v. Liebig die Athmung überlebender, habe ich selber die Säurung absterbender, erwärmter, tetanisirter Muskeln erforscht. Zwar hat keines dieser Dinge erweislich etwas mit der durch das Gesetz des Muskelstromes behaupteten Vertheilung der Spannungen an der Muskeloberfläche zu schaffen. Aber gleichviel. Weil der Gastroknemius für jene Versuche am bequemsten war, muss er auch am geeignetsten sein, das Gesetz des Muskelstromes zu zeigen, und tritt es daran nicht in aller Reinheit hervor, so ist das Gesetz falsch. Das ist, auf ihren klaren Ausdruck gebracht, Hrn. Budge's Schlussfolgerung. Er könnte ebenso gut schliessen: Scheere und Pincette, ein Brillengestell sind für gewisse Zwecke erprobte stählerne Werkzeuge. Da sich daran, wenn man sie magnetisirt, das für lineare gerade Stahlstäbe gültige Gesetz der Vertheilung des freien Magnetis-

mus nach der Kettenlinie nicht bestätigt findet, so ist dies Gesetz falsch; und die Pendelgesetze sind auch falsch, weil die Schwingungsdauer eines an seinem Rollschwanz sich schaukelnden Affen der Quadratwurzel aus der Schwanzlänge nicht genau proportional ist.

Hr. Budge nimmt den Gastroknemius zur Hand und stellt damit Hunderte von Versuchen an, ohne dass es ihm auffällt, dass die Bündel daran nur etwa ein bis zwei Siebentel so lang sind, wie der ganze Muskel. Der Anblick der doppelten Fiederung an der Tibialfläche sagt ihm nichts. Er bemerkt nicht, dass der mit dem Achillesspiegel überzogene untere natürliche Querschnitt sich an der Rückenfläche bis nahe an die Hauptsehne hinaufzieht; dass von einem oberen Querschnitt nichts zu sehen ist. Vielmehr fasst er die ganze Oberfläche des Muskels als natürlichen Längsschnitt, als natürlichen Querschnitt dagegen die Hauptsehne und die Achillessehne selber (nicht deren Ausbreitung) auf. Das Ungereimte entgeht ihm, dass so dünne Sehnen, ohne Vergrösserung ihrer Oberfläche, nicht Raum bieten würden für den Ansatz einer solchen Menge von Fleischbündeln.

Alles dies übersieht Hr. Budge, obschon er sich zu seinen Untersuchungen über das Wachsthum der Muskeln auch gerade des Froschgastroknemius bedient hat[1]). Mit dem Zirkel (denn stets befleissigt er sich der äussersten „Exactität") misst er die Mitte des Muskels ab, bezeichnet sie sorgfältig mit einem Stückchen bunten Papiers, legt in gleicher Entfernung davon seine mit destillirtem Wasser getränkten Papierröllchen an, und verlangt von dieser Anordnung, dass sie die Nadel in Ruhe lasse, da er, seiner Meinung nach, Puncte in gleicher Entfernung vom elektromotorischen Aequator ableitend berührt habe. Die Durchschnittsfigur einer auf die Mitte m der Längsaxe $\Gamma' G$, (Fig. 1.) senkrechten Ebene, deren Projection

1) Wunderlich's Archiv für physiologische Heilkunde, 1858, N. F. Bd. II. S. 71; — Comptes rendus etc. 11 Octobre 1858. t. XLVII. p. 587; — Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1859. Bd. VI. S. 40; — Henle's und Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1861. 3. R. Bd. XI. S. 305.

die Gerade $m'm_{\prime}$ in Fig. 1. 2. 3. 4. zeigt, mit der Muskeloberfläche, hält Hr. Budge für den elektromotorischen Aequator; unbekümmert darum, dass zu beiden Seiten jener Ebene jede Symmetrie im Bau des Muskels fehlt, und dass jene Durchschnittsfigur an der Tibialfläche über den doppelt gefiederten natürlichen Längsschnitt (Fig. 4.), an der Rückenfläche über den natürlichen Querschnitt (Fig. 3.) fortgeht. Er sagt deshalb auch nicht einmal, ob seine Röllchen der Tibial- oder der Rückenfläche oder einer der Seitenflächen anlagen, geschweige wie gross ihr Abstand von einander und ihre Berührungsfläche mit dem Muskel war, sondern begnügt sich mit der erstaunten Meldung, dass in 19 solchen Versuchen ein starker aufsteigender Strom erfolgt sei, der an seinem Multiplicator 40—80° „constanten Ausschlages" (sic) gab[1]).

Diesen Erfolg stellt Hr. Budge an die Spitze der Thatsachen, womit er gegen das Gesetz des Muskelstromes zu Felde zieht. Er hätte nicht unglücklicher wählen können. Allem Vermuthen nach lagen die Bäusche der Rückenfläche an, deren Wölbung sich am bequemsten zur Ableitung darbietet. Je nach dem Abstand der Röllchen wird alsdann die Anordnung des Hrn. Budge durch die Bögen 1*a* und 1*b* in Fig. 1. vorgestellt. Wir wissen bereits (s. oben S. 538), dass in beiden Fällen nach dem Gesetze des Muskelstromes ein aufsteigender Strom erfolgen muss, da, um es noch einmal zu sagen, im ersten Fall das obere Ende des Bogens Längsschnitt, das untere Querschnitt, im zweiten das obere einen dem Längsschnitt näheren, das untere einen davon entfernteren Punct des Querschnittes berührt. Wenn demnach hier etwas unverständlich bleibt, so ist es in der That nur, wie nach den Verhandlungen der letzten zwanzig Jahre der Erfolg dieses Versuches Hrn. Budge habe überraschen können. Hätte Hr. Budge meine „Untersuchungen" mit der Aufmerksamkeit gelesen, die man Arbeiten schuldet, deren Ergebnisse man in Frage stellt, ja hätte er núr einmal die Kupfer zum ersten Bande durchgesehen, es wäre ihm nicht entgangen, dass sein Versuch sich darin längst ausdrücklich

1) Erste vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 207.

beschrieben, abgebildet und erklärt[1]), ausserdem aber unzählige Mal nebenher angestellt findet, da man jene Anordnung bei hundert Gelegenheiten trifft, also z. B., wenn nicht besondere Zwecke es anders erheischen, jedesmal, dass die negative Schwankung beobachtet werden soll.

„Hingegen wird man finden," fährt Hr. Budge fort, „dass „wenn der eine Bausch nahe der Achillessehne, der andere „nur wenig davon entfernt liegt, der Ausschlag immer bedeu„tend geringer ist, als in dem ersten Falle, manchmal ganz „ausbleibt. Hier sind die Entfernungen vom Aequator aber „ungleich, müssten also nach Hrn. Dubois grössere Aus„schläge als in jenem Falle geben; wovon aber in Wirklich„keit das Umgekehrte vorkommt." Auch hier fehlt die Angabe der Fläche des Muskels, von der die Ableitung geschah; doch wird es wohl wieder die Rückenfläche gewesen sein. Ist es nöthig zu wiederholen, was schon der vorige Paragraph uns gelehrt hat, dass, da jetzt die Bäusche auf Querschnitt allein nach dessen Mittelpunct zu rückten, etwa in die mit 2*a*, 2*b* bezeichneten Stellungen in Fig. 1., der Strom ganz natürlich schwächer ausfiel als vorher, ja Null ward; und sieht nicht Jeder, dass, wenn hier etwas dunkel bleibt, es nur ist, wie Hrn. Budge der absteigende Strom nicht aufstiess, auf den er, bei immer tieferem Hinabrücken der Bäusche, bis zu 2*c*, zuletzt treffen musste?

Nur noch einen Versuch am unverletzten Gastroknemius beschreibt Hr. Budge. „Die Muskelsehnen", heisst es a. a. O. unter 4. S. 209, „bezeichnet Hr. Dubois bekanntlich als natürliche „Querschnitte; und ebenso wie ein Strom vom Längsschnitt zum „künstlichen Querschnitt hingeht, soll ein solcher zwischen „Längsschnitt und Sehne bestehen; so dass jener positiv im „Multiplicatordraht[2]) gegen diese ist. In den Hunderten von

1) A. a. O. Bd. I. S. 512 Taf. IV. Fig. 27. — Vergl. Taf. II. S. 22; — Bd. II. Abth. I. Taf. I. Fig. 86.

2) Hier giebt Hr. Budge (vergl. oben Anm. 1 S. 522) die Vertheilung der Spannungen richtig an. Er findet aber für nöthig hinzuzusetzen: „im Multiplicatordraht", vermuthlich weil ihm unklar vorschwebt, dass man bei Angabe der Strömungsrichtung zwischen

„Versuchen, welche ich angestellt habe, ist es mir nicht ein-„mal vorgekommen, dass ein Längsschnitt gegen die Sehne „des oberen Endes vom M. gastrocnemius (im Multiplicator-„draht) sich positiv verhalte, sondern ausnahmslos, dass der „Strom von der oberen Sehne nach dem Längsschnitt hinging, „also gerade umgekehrt, wie es das Gesetz des Hrn. Dubois „vorschreibt." Mit Längsschnitt ist hier, wie aus dem Vorigen erhellt (s. oben S. 540), die ganze Oberfläche des Muskels gemeint, ohne Rücksicht darauf, dass der grösste Theil dieser Oberfläche natürlicher Querschnitt ist. Die Anordnung war je nach dem Abstand der Röllchen die in Fig. 1. mit 3*a*, oder die daselbst mit 3*b* bezeichnete; und der Erfolg ist, wie wir schon wissen, in beiden Fällen völlig dem Gesetz entsprechend, da beide Male der obere Bausch dem vom Querschnitt entferntesten Puncte, der untere im Falle 3*a* dem Querschnitt selber, im Falle 3*b* wenigstens einem dem Querschnitt näheren Puncte anlag. Hr. Budge hätte sich übrigens seine Hunderte von Versuchen sparen können. Auf S. 8 des Pflüger'schen Werkes über den Elektrotonus (Berlin, 1859), welches auch sonst noch nützliche Winke für ihn enthält (vergl. das. S. 157), findet sich auch diese Beobachtung, nach einer mündlichen Mittheilung von mir, bereits erwähnt und erklärt.

§. V.

Der unversehrte Gastroknemius vom Frosch zeigt wirklich einige Eigenthümlichkeiten seiner elektromotorischen Wirkung, die aber Herrn Budge gänzlich entgangen sind, welche beim ersten Blick ausserhalb des Gesetzes des Muskelstromes zu stehen scheinen.

Man sieht hieraus, wie der kleinste Aufwand von Nachdenken und Aufmerksamkeit hingereicht hätte, um Hrn. Budge's Beobachtungen am unversehrten Gastroknemius mit dem

---

zwei Puncten des Kreises entweder an die eine oder an die andere Hälfte desselben, an die Kette entweder oder an den Multiplicatordraht, denken kann. Dass die Vertheilung der Spannungen an der Kette nichts dergestalt Willkürliches, sondern etwas von der Natur Gegebenes sei, scheint ihm nicht deutlich zu sein.

Gesetze des Muskelstromes in befriedigenden Einklang zu bringen. Ich meinerseits hätte mich füglich mit einer Widerlegung seines sinnlosen Angriffes auf Grund meiner älteren Wahrnehmungen begnügen können, wie sie im Vorigen enthalten ist. Da ich aber mittlerweile in den Besitz neuer und den früheren weit überlegener Verfahrungsarten gelangt war, so habe ich selber bei dieser Gelegenheit die Erforschung des Gastroknemius in elektromotorischem Bezuge wieder aufgenommen. Ich bin dabei auf Eigenthümlichkeiten in seiner Wirkungsweise gestossen, der Art, dass wenn Hr. Budge, dem dieselben aber gänzlich entgangen sind, sie als dem Gesetze des Muskelstromes zuwiderlaufend bezeichnet hätte, dies wohl zu verzeihen gewesen wäre. Es ist nicht wenig bezeichnend, dass Herr Budge Züge in dem elektromotorischen Verhalten des Gastroknemius, die ganz leicht nach dem Gesetz des Muskelstromes zu erklären waren, als damit im Widerspruch hingestellt hat, während er sich jene Eigenthümlichkeiten entgehen liess, die beim ersten Blick wirklich damit unverträglich zu sein scheinen. Uebrigens ist es mir alsbald geglückt, den Schlüssel zu diesen scheinbaren Abweichungen zu entdecken, so dass sich schliesslich daraus, statt einer Untergrabung, vielmehr eine Befestigung des Gesetzes ergeben hat.

Die neue Versuchsweise, die mir hier gedient hat, ist in der oben S. 525 Anm. 4. angeführten Abhandlung über Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken ausführlich beschrieben und durch Abbildungen erläutert [1]).

An die Stelle der Zuleitungsgefässe mit ihren Bäuschen u. s. w. treten mit Zinklösung gefüllte, ein verquicktes Zinkblech enthaltende, platte Glasröhren [2]), welche mittels Kugelgelenks

---

1) S. daselbst S. 95; — Taf. III. Fig. 2. 2 a.

2) Seit dem Druck der eben erwähnten Abhandlung bin ich auf einen weiteren Vortheil der platten Röhren aufmerksam geworden, dass man nämlich wegen der Capillarität die Röhren wagerecht stellen, ja hintenüber neigen kann, ohne dass die Lösung ausfliesst.

In der Abhandlung ist gesagt, man solle, um die Zinklösung in der Röhre vor Verunreinigung mit der verdünnten Kochsalzlösung des

allerwärts beweglich, unten durch Bildhauerthon verschlossen sind, der mit einer sehr verdünnten Kochsalzlösung angeknetet ist. Diesen Thonstiefeln, wie man sie in Jena genannt hat, kann man in jedem Augenblick jede für die Ab- und Zuleitung von Strömen von und zu den thierischen Theilen dienliche Gestalt geben. Im vorliegenden Falle knetet man sie zu feinen Spitzen aus und berührt damit die Puncte des Muskels, deren elektromotorisches Verhalten man zu erforschen wünscht. Eine gute Art, den Muskel dabei zu unterstützen, besteht darin, ihn auf die gewölbte Fläche eines Uhrglases zu legen, welches mit schwarzem Kitt ausgegossen ist. Es hat keine Schwierigkeit, beide Spitzen innerhalb eines Bezirks von nur wenigen Quadratmillimetern dem Muskel anzulegen, und so z. B. das elektromotorische Verhalten der verschiedenen Puncte des Querschnittes eines Froschmuskels gegen einander zu bestimmen. Doch erleichtert es die Versuche sehr, wenn man über etwas grosse Frösche gebietet.

Im Kreise der Röhre befand sich bei diesen Versuchen die Wiedemann'sche Spiegelbussole mit 6 bis 12000 Windungen, deren Spiegel nach Bedürfniss mittels des Hauy'schen Verfahrens astatisch gemacht wurde; ein Schlüssel, der den Kreis immer erst schloss, nachdem den Thonspitzen ihre Stellung am Muskel ertheilt und das Auge dem Fernrohr genähert war; ausserdem aber der von mir in der erwähnten Abhandlung beschriebene Compensator. Letzterer diente theils, um mittels eines von einem Daniell abgeleiteten Stromzweiges etwa auftauchende Ungleichartigkeiten der Ableitungsröhren aufzuwiegen, theils um gelegentlich statt der Stromstärke die elektromotorische Kraft der Muskeln nach dem von mir angegebenen Verfahren zu bestimmen, welches dies wichtige Element, gleich dem Zeug an der Elle, durch eine einzige Able-

---

Thonstiefels zu schützen, die untere Mündung zuerst mit Fliesspapier verstopfen, welches mit der Zinklösung getränkt ist. Viel besser ist es, sie mit Thon zu verschmieren, der mit der Zinklösung angeknetet ist. Ueber diesen Verschluss kommt dann erst der zur Berührung der thierischen Theile bestimmte, mit der verdünnten Kochsalzlösung angeknetete Thonstiefel.

sung unmittelbar zu messen erlaubt[1]). Soviel wie möglich wurden die Versuche im feuchten Raum angestellt.

1) Das Princip, worauf dies Verfahren sich gründet, ergiebt sich unmittelbar mit Hülfe des Satzes, den Hr. Bosscha aus den Kirchhoff'schen Sätzen über Verzweigung der Ströme (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 513; — 1847. Bd. LXXII. S. 497) abgeleitet hat, dass nämlich ein Zweig einer Leitung, in dem kein Strom kreist, ohne Aenderung des Strömungsvorganges mit einer etwa in dem Zweige befindlichen elektromotorischen Kraft entfernt und wieder hinzugebracht, oder während seiner Anwesenheit als nicht vorhanden angesehen werden kann. (Ebenda, 1858. Bd. CIV. S. 460; — vergl. Wiedemann, die Lehre vom Galvanismus. Braunschweig 1861. S. 138. §. 72.) Demnach hat man für den Fall des Gleichgewichtes in der Nebenleitung λ die Stromstärke $I_\lambda = \frac{E}{C}$, nach dem die geschlossenen Figuren betreffenden Kirchhoff'schen Satz also in dem den Multiplicator u. s. w. enthaltenden Umgang: $\text{Null} \times M + \frac{E}{C} \cdot \lambda = y$, $y = \frac{E}{C} \cdot \lambda$, w. z. b. w.

Von hier aus gelangt man auch leicht dazu, den Grund der Proportionalität zwischen y und λ zu verstehen. Denken wir uns zuerst den Multiplicatorkreis mit der darin befindlichen zu messenden elektromotorischen Kraft entfernt. Im Nebenschliessdraht sind die Spannungen (die Potentialwerthe der freien Elektricität) so abgestuft, dass deren Unterschied an zwei Puncten des Drahtes dem Abstande dieser Puncte von einander proportional ist. Nun sei die Aufgabe gestellt, den Nebenschliessdraht an zwei Puncten mit den Enden des Multiplicatorkreises zu berühren, ohne dass ein Strom in diesem Kreise entstehe, also auch ohne dass die Spannungen auf dem Nebenschliessdraht eine Aenderung erleiden. Die Bedingung dafür wird sein, dass im Multiplicatorkreise eine elektromotorische Kraft herrsche, von gleicher Grösse mit dem Spannungsunterschiede der beiden berührten Puncte, aber von entgegengesetztem Zeichen. Alsdann wird in den beiden Abschnitten des Multiplicatorkreises jederseits vom Sitze der Kraft das Potential constant und von gleichem Werthe wie an dem Puncte des Nebenschliessdrahtes, den das freie Ende des betreffenden Abschnittes berührt, und es geht bei der Berührung Elektricität weder vom Nebenschliessdraht auf den Multiplicatordraht, noch von diesem auf jenen über. Da aber dergestalt die Abstufung der Spannungen auf dem Nebenschliessdraht ungeändert bleibt, so wird die elektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise um so grösser sein müssen, je weiter von einander im Nebenschliessdraht die Puncte gewählt

Berühren die Spitzen an der Rückenfläche die eine den Längs-, die andere den Querschnitt (1*a*, 3*a* Fig. 1.), so giebt sich nichts Auffallendes kund. Es erfolgt, wie wir schon wissen, ein starker aufsteigender Strom. Liegen dagegen die Spitzen beide dem Achillesspiegel an, so trifft das oben S. 538 Vorhergesagte nur zum Theil ein. Danach sollte, bei symmetrischer Lage der Spitzen zum Mittelpuncte *C*, der Strom Null sein. Bei jeder anderen Lage sollte zu der dem Längsschnitt näheren Spitze ein schwacher Strom einkehren. Es sollte also z. B. ein Strom im Muskel absteigen, sobald von den in ungleicher Höhe befindlichen Spitzen die untere die dem Längsschnitt nähere ist (s. oben a. a. O. S. 243 und 2*c* Fig. 1.). Liegen die beiden Spitzen am Achillesspiegel in gleicher Höhe neben einander, so ist, bei gleichem Abstande derselben von der Medianebene, der Strom auch wirklich Null, und bei seitlichem Verrücken der Spitzen entsteht ein Strom

---

werden, die der Multiplicatorkreis mit seinen Enden berührt. Umgekehrt, je grösser eine gegebene elektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise ist, um so weiter von einander entfernte Puncte des Nebenschliessdrahtes müssen die Enden des Multiplicatorkreises berühren, wenn darin Gleichgewicht bestehen bleiben soll; und so wird die zur Erzielung des Gleichgewichtes im Multiplicatorkreise aufgewendete Länge des Nebenschliessdrahtes ein unmittelbares Maass der in jenem Kreise herrschenden elektromotorischen Kraft. Der Widerstand des Multiplicatorkreises kommt dabei deshalb nicht in Betracht, weil darin keine Bewegung, sondern nur statische Vertheilung der Elektricität stattfindet.

Ich habe auch noch die Bemerkung nachzuholen, wie das Compensationsverfahren sich gestaltet, wenn ausser der zu messenden elektromotorischen Kraft y (der des Muskels oder Nerven) noch eine andere x (eine Ungleichartigkeit der Zuleitungsgefässe) im Multiplicatorkreise vorhanden ist. Man sieht sogleich, dass man die x entsprechende Länge der Nebenleitung $\lambda_{,}$ von der $y+x$ entsprechenden $\lambda_{,,}$ algebraisch abzuziehen hat, da wegen der Proportionalität zwischen der elektromotorischen Kraft im Multiplicatorkreise und der Nebenleitung im Fall des Gleichgewichtes, $x = \text{const.}\,\lambda_{,}$, $y + x = \text{const.}\,\lambda_{,,}$, folglich $y = \text{const.}\,(\lambda_{,,} - \lambda_{,})$ ist. Um ohne den compensirenden Strom umzusetzen sich von der Constanz von x überzeugen zu können, gebe man aber y einerlei Richtung mit x.

wie die Theorie es verlangt. Liegen aber die Spitzen über einander, etwa in der Medianebene, wie in Fig. 1. und 2., so gestalten sich die Dinge nicht, wie wir uns bisher dachten, oder wie es in der ersten Figur, sondern so, wie es in der zweiten vorgestellt ist. In der Lage 1. Fig. 2., wo ein schwacher Strom im Muskel aufsteigen sollte, erfolgt nämlich ein verhältnissmässig zu starker aufsteigender Strom. In der zu *C* symmetrischen Lage 2,. entsprechend 2*b* Fig. 1., wo der Strom Null sein sollte, erhält man immer noch einen kräftigen aufsteigenden Strom, dessen Stärke mit der Spannweite des Bogens wächst. In der 3., entsprechend 2*c* Fig. 1., wo der Strom absteigen sollte, ist er immer noch aufsteigend, obwohl schwächer als in der 2. Der aufsteigende Strom verschwindet erst in einer Lage ähnlich der 4. Endlich erst in der Lage 5. erhält man einen stets nur sehr schwachen absteigenden Strom. Ja es kommt vor, dass entweder die beiden letzteren Fälle, oder wenigstens deren zweiter, gar nicht eintreffen, vielmehr der Strom, beim Verschieben des Bogens bis zur Achillessehne, zuletzt nur verschwindet, ohne sich umzukehren, oder gar bis zuletzt, wenn auch nur spurweise, vorhanden und aufsteigend bleibt. Nähert man sich mit den beiden in ungleicher Höhe befindlichen Spitzen den seitlichen Rändern des Achillesspiegels, so ist nicht die den Rändern nähere Spitze stets die positive, wie sie sollte. Vielmehr ist stets die obere auffallend stark positiv gegen die untere. Der dadurch bewirkte aufsteigende Strom verschwindet nicht bei gleichem Abstand der Spitzen von den Rändern (6. Fig. 2.), und wird nur sehr unbedeutend verstärkt oder geschwächt, nie umgekehrt, wenn man beziehlich die obere oder die untere Spitze dem Rande nähert (7. 8. das.).

Begiebt man sich mit den Spitzen auf den Streifen Längsschnitt an der Tibialfläche, so erhält man richtige Ströme abermals nur, wenn beide Spitzen in gleicher Höhe sind, was bei der Enge des Raumes ein schwerer Versuch ist. Sind die Spitzen in ungleicher Höhe, so passt Alles von ihrem Verhalten am Achillesspiegel nahe dessen Rändern Gesagte mit den nöthigen Abänderungen auch hierher. Stets ist die obere Spitze stark positiv gegen die untere. Der dadurch bewirkte

aufsteigende Strom verschwindet nicht bei gleichem Abstand der Spitzen von den Rändern (1. Fig. 4.), und wird nur sehr unbedeutend verstärkt oder geschwächt, nie umgekehrt, wenn man beziehlich die untere oder die obere Spitze dem Rande nähert (2. 3. das.).

Aber als noch viel fremdartiger erscheint es nunmehr, dass auch der scheinbar so sichere Schluss nicht zutrifft, wonach man zwischen Längs- und Querschnitt des Gastroknemius nach Belieben einen starken absteigenden Strom erhalten müsste, wenn man in der in Fig. 4. bei 4. vorgestellten Art die obere Spitze dem Querschnitt, die untere dem Längsschnitt anlegte. Aeusserst selten hat der Strom die verlangte Richtung, und wenn je, so ist er doch nur von sehr geringer Stärke. Meist ist der Strom aufsteigend, d. h. unerhörter Weise verhält sich der Längsschnitt, statt positiv, negativ gegen den Querschnitt. Der erste Gedanke bei diesem Anblick ist, man habe es mit der Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt durch die parelektronomische Schicht zu thun [1]). Allein erstens findet man den Strom in der richtigen Richtung vor, sobald die Spitze am Längsschnitt höher oder nur um eine gewisse nicht näher zu bestimmende Grösse niedriger liegt als die am Querschnitt (5. 6. Fig. 4.); zweitens behält der verkehrte Strom nicht allein seine Richtung, sondern nimmt noch an Stärke zu, wenn die parelektronomische Schicht durch Eintauchen des Muskels in eine entwickelnde Flüssigkeit, z. B. Kochsalzlösung, zerstört wird.

An diese Deutung ist also nicht zu denken. Dagegen werden allerdings sämmtliche hier beschriebene Unregelmässigkeiten im elektromotorischen Verhalten unseres Muskels verständlich unter der Annahme eines darin aufsteigenden Stromes, der sich algebraisch zu den durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten Strömen hinzufügt, wie der Zuwachs

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 34 ff.; — Monatsberichte der Berliner Akademie 1851 S. 392; — Die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851 u. s. w. Berlin 1855. S. 164.

im Elektrotonus zum ursprünglichen Nervenstrom, die aufsteigenden verstärkt, die absteigenden schwächt, ja überwiegt. Für die Ströme zwischen verschiedenen Puncten des Achillesspiegels erhellt dies deutlicher aus Fig. 10. A. Taf. XV. In derselben bedeutet die Abscissenaxe $G'CG$, den Durchschnitt der Medianebene mit dem Achillesspiegel, die Ordinaten der punctirten Curve $M'CM$, sind die positiven Spannungen (Potentialwerthe) der zugehörigen Puncte der Oberfläche, wie sie nach dem Gesetz des Muskelstromes sein sollten, die der gestrichelten, der Einfachheit halber als Gerade gedachten Curve $NC'G$, die Spannungen, welche dem vorausgesetzten aufsteigenden Strom zu Grunde liegen, endlich die der ausgezogenen Curve $RC'M$, die resultirenden Spannungen. Denkt man sich zwei beliebige Puncte der Abscissenaxe durch einen Bogen verknüpft, so geht durch den Bogen in der Richtung von dem Puncte, dem die grössere, zu dem Puncte, dem die kleinere Ordinate zugehört, ein Strom, dessen Stärke, abgesehen vom Widerstande, durch den Unterschied der zugehörigen Ordinaten bemessen wird [1]). Die Figur zeigt, wie sich diese Unterschiede in fünf Fällen gestalten, in welchen die Puncte auf der Abscissenaxe die gleiche Lage haben, wie die Fusspuncte des Bogens in Fig. 2., und man überzeugt sich leicht, dass die Ordinatenunterschiede der Grösse und dem Zeichen nach mit der Stärke und Richtung der Ströme übereinkommen, wie sie oben S. 549 angegeben sind. Der Fall, wo es beim Verschieben

1) Ich stellte früher das Gesetz der elektromotorischen Thätigkeit der Nerven und Muskeln graphisch so dar, dass ich mir längst der Abscissenaxe, — der entwickelten Durchschnittsfigur einer durch die Muskel- oder Nervenaxe gelegten Ebene mit der Muskel- oder Nervenoberfläche, — einen Bogen von willkürlicher aber beständiger Spannweite verschoben dachte, und bei jeder Stellung des Bogens auf die Mitte seiner Spannweite die Stärke des im Bogen gegenwärtigen Stromes als Ordinate auftrug. Diese Darstellung hat das für sich, dass sie der reine Ausdruck der Beobachtung ist. Es lässt sich aber dagegen sagen, dass sie nur für eine bestimmte Spannweite gilt, und dass sie von der Vertheilung der Spannungen an der Oberfläche der thierischen Elektromotore, welche doch das eigentlich zu Erforschende ist, nur mittelbar und unter Einmischung eines willkürlichen Elementes, eben

des Bogens bis zur Achillessehne nicht gelingt, den Strom verschwinden, geschweige sich umkehren zu sehen, erklärt sich durch verhältnissmässig grössere Steilheit der neu hinzutretenden Curve, als sie in der Figur angenommen worden ist. Die resultirende Curve hat alsdann kein Minimum mehr, oder die Dinge gestalten sich wenigstens so, dass der Abstand $\alpha G_{,}$ (s. die Figur) kleiner, oder so klein ist wie der kleinste Abstand, den man den Thonspitzen zu ertheilen vermag.

Im Einklange mit dieser Theorie ist der Erfolg nachstehenden Versuches. Es heissen Q_h, Q_t, L_h, L_t beziehlich zwei am Querschnitt (dem Achillesspiegel), und zwei am Längsschnitt (der Tibialfläche) hoch und tief gelegene Puncte. Ist m die Stärke des Muskelstromes zwischen $Q_{h,t}$ und $L_{h,t}$, und n die des vorausgesetzten aufsteigenden Stromes, so steht zu erwarten

zwischen	L_h	und	Q_t	im	Bogen	5. Fig. 4.	die	Stromstärke	$n+m$,
„	L_h	„	L_t	„	„	1.	„	„	„	n,
„	Q_h	„	Q_t	„	„	7.	„	„	„	n,
„	Q_h	„	L_t	„	„	4.	„	„	„	$n-m$.

Mit anderen Worten: es muss die Stromstärke in den beiden mittleren Fällen die Mitte halten zwischen der grösseren Stromstärke in dem ersten und der kleineren in dem vierten Falle. Dies trifft sehr regelmässig zu.

---

der gewählten Spannweite, Rechenschaft giebt. Es ist daher für manche Zwecke besser, sich der oben gebrauchten Darstellung zu bedienen, wobei die Ordinaten unmittelbar die Spannungen der zugehörigen Puncte der elektromotorischen Oberfläche des Muskels im Helmholtz'schen Sinne angeben (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 217). Die neue Darstellung umfasst, wie man leicht bemerkt, zugleich das Gesetz der Spannweiten, welches sich der älteren entzieht (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 695). Beachtung verdient, dass in Fig. 10. A. willkürlich die Muskelstrom-Spannung positiv und im Puncte C = Null gemacht ist, da nach meiner Anschauung vielmehr die des Aequators ein negatives Minimum, die der Pole ein solches Maximum sein würde. Ebenso willkürlich ist die absolute Grösse der neu hinzutretenden Spannungen (der Ordinaten der Curve $NC'G_{,}$) gewählt. Die Figur wurde so am verständlichsten, während es wesentlich hier nur auf die algebraische Summe der Steilheiten der beiden Curven in jedem Punct ankam, welche von der absoluten Höhe der Ordinaten der Curven unabhängig ist.

Es ist endlich unmöglich, sich hier nicht noch einer Thatsache zu erinnern, auf welche ich längst, als nicht gut erklärbar aus dem Gesetze des Muskelstromes, aufmerksam gemacht habe[1]). Ich meine die grosse Stärke des aufsteigenden Stromes, den man vom Gastroknemius erhält, wenn man einerseits die Haupt-, andererseits die Achillessehne mit den Multiplicatorenden berührt (6. Fig. 2.), also gerade bei einer Anordnung, deren ich mich unzählige Mal bedient habe: zu den Versuchen über den Einfluss der Dehnung und Zusammendrückung auf den Strom, über die negative Schwankung am gedehnten und zusammengedrückten Muskel, vorzüglich aber zur Untersuchung über die parelektronomische Schicht, deren Enträthselung sonst ganz unmöglich gewesen wäre. Dass bei dieser Anordnung ein aufsteigender Strom erscheine, ist an sich verständlich und bereits oben S. 538 aus dem Gesetz abgeleitet worden. Aber der Strom sollte an Stärke vergleichbar sein den schwachen Strömen des Längsschnittes, während er in Wirklichkeit sich dem Strom zwischen Längs- und Querschnitt nähert. Er sollte ferner, wie bereits oben a. a. O. verlangt wurde, verschwinden, wenn die obere Spitze der oberen Grenze G' zwischen Längs- und Querschnitt angelegt wird (10. Fig. 2.). Dies trifft nicht ein, vielmehr bleibt der Strom in grosser Stärke bestehen. Nimmt man an, dass im Gastroknemius ein aufsteigender Strom aus anderer Ursache sich zum Muskelstrom hinzufügt, so würde auch dieser Umstand erklärt sein. Der zu $G'G_{\prime}$ gehörige Ordinatenunterschied $RM' = NG'$ (11. Fig. 10. A) stellte dann unmittelbar die Spannung im Falle 10. Fig. 2. vor.

Und so sind wir selber, merkwürdig genug, zu Thatsachen gelangt, wodurch Hrn. Matteucci's durch Hrn. Budge aufgefrischte Lehre von einem im Gastroknemius des Frosches aufsteigenden „Courant propre“, der mit Längs- und Querschnitt nichts zu schaffen habe, die erfahrungsmässige Grundlage zu erhalten scheint, deren sie bisher entbehrte, da die Wahrnehmungen, worauf ihre Urheber fussten, sich, wie ge-

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 512.

zeigt wurde, leicht auf den Muskelstrom zurückführen lassen. Inzwischen auch abgesehen davon, dass Hr. Budge von den hier mitgetheilten Thatsachen, welche zur Annahme des aufsteigenden Stromes im Gastroknemius nöthigen, keine gekannt hat, ist zwischen unserer und seiner Vorstellung von einem solchen Strome der Unterschied, dass er am unversehrten Muskel den Muskelstrom leugnet und an seine Stelle den „Courant propre“ setzt, während wir jetzt erfahren haben, dass zu dem sich sonst bis in seine feinsten Züge bewährenden Gesetze des Muskelstromes am unversehrten Gastroknemius scheinbar noch das Gesetz hinzutritt, wonach höher gelegene Puncte sich positiv gegen tiefer gelegene verhalten.

Ich betone dies ausdrücklich und erhebe im Voraus Einsprache gegen jeden Versuch, den von mir im Gastroknemius wahrgenommenen aufsteigenden Strom mit dem von Hrn. Budge darin auf irrthümlicher Grundlage behaupteten für einerlei auszugeben, oder diese Einerleiheit durch stillschweigende Voraussetzung derselben zur Geltung zu bringen, und so Hrn. Budge den Nachweis des im Gastroknemius aufsteigenden Stromes, oder wenigstens einen Antheil daran, zuzuschreiben. Hr. Budge hat zwar vor mir angegeben, dass sich am Gastroknemius der Längsschnitt stellenweise negativ gegen den Querschnitt verhalte. Leider für ihn gehört aber der Punct, den er als Längsschnitt bezeichnet, dem Querschnitt, und der Punct, den er als Querschnitt bezeichnet, dem Längsschnitt an. Hr. Budge hat somit, es sei aus guten Gründen hier vorweg gesagt, an der Entdeckung des im Gastroknemius aufsteigenden Stromes gerade soviel Anrecht, wie der Nachbar, der, weil er eine Katze für einen Hasen nimmt, dem Bauer zuruft, es sei ein Hase in seinem Kohl, an dem Hasen, den der Bauer hernach wirklich schiesst.

Wenden wir uns jetzt zum Muskelkopfe. Nach dem Gesetz (s. oben S. 538) sollten sich einfach die vom Achillesspiegel entfernteren Puncte des den Muskelkopf allseits begrenzenden Längsschnittes positiv verhalten gegen die dem Spiegel näheren, mit anderen Worten, man sollte zwischen zwei beliebigen, aber ungleich hoch gelegenen Puncten des Muskelkopfes

einen aufsteigenden Strom finden. Diese Schlussfolge setzt jedoch so grosse Berührungsflächen des Bogens mit dem Muskel voraus, dass die kleinen natürlichen Querschnitte, welche unter der Haupt- und Nebensehne verborgen liegen, keinen merklichen Einfluss ausüben. Für Hülfsmittel von solcher Feinheit, wie wir sie jetzt anwenden, trifft dies nicht mehr zu.

Liegt die eine Spitze der Hauptsehne, die andere einem wenige Millimeter darunter am Umfang des Muskelkopfes gewählten Puncte des Längsschnittes an, so erfolgt häufig ein im Muskel absteigender Strom, der wenige Scalentheile Ausschlag bewirkt, d. h. die Hauptsehne verhält sich schwach negativ gegen jenen Punct. Erst wenn man letzteren ansehnlich tiefer, oder dem Achillesspiegel näher wählt, wird er der negativere, und der Strom aufsteigend.

Hiernach, und nach den neuen auf den Achillesspiegel bezüglichen Ermittelungen, ändert sich beiläufig das, was oben S. 538 über den Einfluss der Spannweite des Bogens auf die Stärke des Stromes zwischen Längs- und Querschnitt vorhergesagt wurde. Danach sollte der stärkste Strom stattfinden zwischen der Hauptsehne und dem Mittelpuncte *C* des Achillesspiegels. Jetzt, wo wir wissen, dass dieser Mittelpunct nicht der negativste Punct des Achillesspiegels und die Hauptsehne nicht der positivste Punct des Muskelkopfes ist, lässt sich vorhersehen, und der Versuch bestätigt es, dass zur Erzeugung des stärksten Stromes nicht diese Puncte mit einander zu verknüpfen sind, sondern die wirklich am Muskelkopf und dem Achillesspiegel beziehlich als der positivste und negativste erkannten, nämlich am Muskelkopf ein etwas unter der Hauptsehne, und am Achillesspiegel ein tiefer als dessen Mitte gelegener Punct.

Wie die Hauptsehne, zeigt sich auch die Nebensehne schwach negativ gegen den umgebenden Längsschnitt, regelmässig wenigstens gegen Puncte desselben, welche mit ihr in gleicher Höhe liegen; und soweit erscheint am Muskelkopfe Alles in der Ordnung. Weit entfernt davon, dass dies Abweichungen vom Gesetz des Muskelstromes wären, kann man in dem wirklich geführten Nachweis der Negativität so kleiner und

so versteckter natürlicher Querschnitte nur eine sprechende Bestätigung jenes Gesetzes sehen[1]). Man könnte höchstens

1) Ich habe schon früher (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 350) anders bewiesen, dass die Nebensehne sich als Theil des oberen natürlichen Querschnittes des Gastroknemius verhält. Ich schloss den Kreis zwischen Haupt- und Achillessehne an parelektronomischen Gastroknemien, und liess die Multiplicatornadel unter dem Einfluss des schwachen aufsteigenden Stromes, der etwa zugegen war, und des Stromes der Ladungen zur Ruhe kommen. Dann betupfte ich die Nebensehne mit einer entwickelnden Flüssigkeit und sah dabei oft einen absteigenden Ausschlag erfolgen.

Ich habe jetzt diesen Versuch mit den unpolarisirbaren Zuleitungsgefässen an der Spiegelbussole wiederholt, und mich auf's Neue von seiner Richtigkeit überzeugt. Gesättigte Höllensteinlösung ist die geeignetste Flüssigkeit dazu, weil sie sich nicht so leicht verbreitet wie Essigsäure, nicht so langsam eindringt wie Kreosot, und ihr Verbreitungsbezirk stets leicht erkannt wird. (Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 77. 78.) Die Abnahme des Stromes ist eine dauernde; daraus allein folgt, dass sie nicht der negativen Schwankung wegen der Zuckungen beim Anätzen zuzuschreiben sei. Ist der Muskel stark parelektronomisch, so kann er in Folge des Versuches absteigend wirksam bleiben. Das Betupfen keiner anderen Stelle des Muskelumfanges bringt die gleiche Wirkung hervor, obschon auch dabei gezuckt wird. Am beweiskräftigsten ist dieser Gegenversuch an der der Nebensehne symmetrischen Stelle der Tibialfläche. Benetzt man einen Punct der Rückenfläche in gleicher Höhe mit der Nebensehne, so erfolgt sogar oft eine positive, statt einer negativen Veränderung des Stromes. Man kann auch, anstatt chemisch die parelektronomische Schicht unter der Nebensehne zu zerstören, mittels einer kleinen Cooper'schen Scheere die Nebensehne abtragen. Der Erfolg dabei, und bei den entsprechenden Gegenversuchen an anderen Stellen, ist der nämliche wie beim Anätzen. Endlich kann man dem Versuch auch noch eine in gewisser Beziehung richtigere Gestalt ertheilen, indem man dem Muskel, statt der Bäusche an Haupt- und Achillessehne, die Thonspitzen der Zuleitungsröhren so anlegt, dass die eine einen beliebigen, bequem gelegenen Punct des Längsschnittes, die andere einen der Nebensehne möglichst nahen Punct desselben berührt, und dann die Nebensehne anätzt oder abträgt. Dadurch wird der letztere Punct negativer gegen den anderen, eine Wirkung, welche nicht eintritt, wenn man die beiden Spitzen zweien beliebigen Puncten des Längsschnittes anlegt und quer auf die Verbindungslinie der beiden Spitzen, dicht an der einen, einen Strich mit dem Höllensteinpinsel zieht.

fragen, weshalb diese Querschnitte sich nur schwach negativ verhalten und nicht vielmehr so stark wie der Achillesspiegel. Darauf lässt sich antworten, dass erstens, welche Mühe man sich auch gebe, mit der Thonspitze nur den elektrischen Zustand des Querschnittes zu erforschen, dies doch vermuthlich nicht gelinge, namentlich nicht an der Hauptsehne, wo der Querschnitt unter einer dicken Masse von Sehnengewebe versteckt sei; und dass zweitens Haupt- und Nebensehne sich vielleicht ebenso negativ verhalten, wie Puncte des Achillesspiegels, die dessen äussersten Saum bilden und so nah wie jene dem Längsschnitt sind.

Ueber diesen Umstand wird man also fortsehen dürfen. Allein der Kopf des Gastroknemius lässt nun auch wirklich, gleich dem übrigen Muskel, in seiner elektromotorischen Wirkung Umstände erkennen, welche nicht mit dem Gesetz des Muskelstromes zu vereinigen sind. Während sich die Nebensehne mit der Hauptsehne gleichartig, und negativ gegen einen wenig tiefer als sie gelegenen Punct verhalten sollte, findet man sie meist negativ gegen die Hauptsehne und positiv gegen einen tieferen Punct. In beiden Fällen erfolgt also ein schwacher aufsteigender Strom. Einen solchen Strom erhält man auch, wenn man einen in gleicher Höhe mit der Nebensehne gelegenen Punct des Längsschnittes mit einem tieferen Puncte verknüpft. An und für sich könnte man diesen als den schwachen Strom des Längsschnittes, vom Achillesspiegel fort im Muskel, auffassen; aber der von einem tieferen Puncte zur Nebensehne, und von der Neben- zur Hauptsehne aufsteigende Strom ist jedenfalls etwas Anderes, und erscheint am Muskelkopfe als die Fortsetzung des aufsteigenden Stromes, den wir in den unteren Theilen der Tibialfläche wahrgenommen haben. Auch hierin könnte man sich, insofern dadurch keine neue Annahme nöthig gemacht wird, jetzt leicht finden. Was aber gar nicht dazu stimmt, ist, dass man manchmal an der Rücken-

---

Die Negativität der Hauptsehne gleich der der Nebensehne durch Anätzen zu erhöhen, gelingt schlecht wegen der verhältnissmässig grossen und ungleichen Dicke, in der sie den unter ihr liegenden natürlichen Querschnitt überzieht.

fläche des Muskelkopfes, zwischen der Hauptsehne und dem Rande G' des Achillesspiegels, nirgends einen aufsteigenden Strom antrifft, da sich doch hier der Längsschnittsstrom vom Querschnitt fort im Muskel mit dem „Courant propre" summiren müsste, sondern hartnäckig einen schwachen absteigenden Strom (11. Fig. 2.).

Diese schwachen Ströme am Muskelkopfe sind übrigens sehr unbeständig, so dass man sie nicht immer in den angezeigten Richtungen vorfindet, und dass sie im Vergleich zu einander oft sehr verschiedene Stärke zeigen. Ich habe mit ihrer Erforschung viel Zeit verbracht, ohne zu einer sicheren Beherrschung der dabei auftretenden Zufälligkeiten zu gelangen.

Was die parelektronomische Schicht betrifft, so sieht man im Allgemeinen, unserer Vorhersage gemäss, alle hier beschriebenen Wirkungen mit deren Entwickelung einander proportional abnehmen, und mit deren natürlicher Rückbildung, oder künstlichen Schwächung im Versuch, ebenso sich steigern.

§. VI.

Die besonderen elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Gastroknemius lassen sich auch an einem regelmässig gefaserten Muskel hervorrufen, den man nach Art des Gastroknemius zuschneidet. Man erhält so eine neue Art von Muskelströmen, die „Neigungsströme".

Ehe wir die Annahme eines im Froschgastroknemius zum Muskelstrom hinzutretenden, aufsteigenden „Courant propre" als nothwendig anerkennen, wird es gerathen sein zu untersuchen, welcher Antheil an den unregelmässigen Wirkungen dieses Muskels vielleicht der besonderen Anordnung seiner Fleischbündel zukomme. Ein Weg dazu würde sein, an einem anderen Muskel, an dem vermöge seines von Natur regelmässigen Baues das Gesetz des Muskelstromes rein hervortritt, dieselbe Anordnung künstlich herzustellen. Wenn alsdann an diesem Muskel ähnliche Abweichungen der elektromotorischen Thätigkeit einträten wie am Gastroknemius, so würde deren Ursprung aus den Eigenthümlichkeiten des Gastroknemiusbaues und deren Unabhängigkeit von einem „Courant propre" selbst

dann erwiesen sein, wenn deren theoretische Herleitung durch die Verwickelung des Gegenstandes unmöglich gemacht wäre. Auf den ersten Blick mag dieser Plan unausführbar scheinen; man wird aber gleich sehen, dass er mit gar keinen Schwierigkeiten verknüpft ist. Um ihn zu verwirklichen, haben wir nur nöthig, auf das in Fig. 5. gegebene, oben S. 529. 530 erläuterte Schema des Gastroknemiusbaues zurückzugehen. Das Zusammenklappen des oberen natürlichen Querschnittes in der Längsmittellinie, das Verwachsen seiner Hälften zur sehnigen Scheidewand werden wir freilich nicht nachahmen können. Aber nichts verhindert uns, mit künstlichem Querschnitt eine solche Anordnung herzustellen, wie wir sie, mit natürlichem Querschnitt, als Urgestalt des Gastroknemius vorausgesetzt haben.

Der Adductor magnus stellt, abgesehen von seinen sehnigen Enden und von einer leichten Asymmetrie derselben, vermöge welcher er oben breiter und dünner, unten schmäler und dikker ist, einen Cylinder vor, der zur Grundfläche ein längliches Rechteck mit abgerundeten Ecken hat. Durch zwei parallele Schnitte, welche senkrecht auf die platte Seite des Cylinders unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel gegen seine Axe geführt werden[1]), entsteht das in Fig. 11. abgebildete Präparat, das wir einen M u s k e l r h o m b u s nennen wollen, wegen der Gestalt der Schnittfläche, die man erhält, wenn man sich durch die grossen Axen $G'CG_{,}$, $\Gamma'K\Gamma_{,}$ der als Ellipsen gedachten schrägen Grundflächen eine Ebene gelegt denkt. Die Aehnlichkeit zwischen dem so zugeschnittenen Adductor magnus und dem in Fig. 5. schematisirten Gastroknemius vor dem Zusammenklappen seines oberen natürlichen Querschnittes springt in die Augen.

Ehe wir an die Untersuchung der Ströme am Muskelrhombus gehen, will ich zuerst die Aufmerksamkeit auf einen da-

1) Die richtige Art, Querschnitte für derartige Versuche zu machen, ist die schon früher (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 698) von mir angegebene, die Muskeln auf eine passende Unterlage, etwa auf die Narbenseite eines Stückes Leder, zu legen, und ein senkrecht aufgesetztes Rasirmesser möglichst rasch hindurchzudrücken.

bei in Betracht kommenden Umstand lenken, auf den ich zwar schon bei anderer Gelegenheit hingewiesen[1]), den ich aber noch nie, wie er es verdiente, ausdrücklich durch Versuche erläutert habe. Ich meine die Abnahme der Negativität des Querschnittes mit dem Winkel zwischen demselben und der Faserrichtung[2]).

Da man den Muskel verkürzt, wenn man an Stelle des senkrechten einen schrägen, und an Stelle dieses wieder einen senkrechten Querschnitt anlegt, so ist zuerst der Einfluss zu prüfen, den die Verkürzung an sich, ohne dass die Neigung des Querschnittes verändert wird, auf den Spannungsunterschied zwischen Längs- und Querschnitt übt; und da der Widerstand des Muskels mit der Verkürzung abnimmt, so ist es am besten, statt die Stromstärke an der Bussole, gleich am Compensator die elektromotorische Kraft zu messen. Ein Punct des Längsschnittes, nah dem einen sehnigen Ende des Muskels, wird mit etwas Russ bezeichnet; er ist bestimmt, mit der Thonspitze einer Zuleitungsröhre berührt zu werden. Am anderen Ende des Muskels wird ein senkrechter oder schräger Querschnitt angelegt, und gegen das Thonschild eines meiner neuen Zuleitungsgefässe geschoben[3]). Hat man den Spannungsunterschied der beiden abgeleiteten Stellen gemessen, so wird ein neuer senkrechter, beziehlich schräger Querschnitt hergestellt, der den Muskel um einen bestimmten Bruchtheil, z. B. um ein Viertel der Strecke zwischen dem ersten Querschnitt und dem abgeleiteten Puncte des Längsschnittes verkürzt, und der neue Spannungsunterschied bestimmt. So wer-

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 504; — Bd. II. Abth. 2. S. 122.124.

2) Genau genommen sollte mit Querschnitt nur ein senkrechter Durchschnitt der Muskelbündel bezeichnet werden. Inzwischen würde, wie die Sachen stehen, diese Beschränkung ihre Nachtheile haben, und es wird daher im Folgenden ohne Rücksicht darauf häufig von schrägen Querschnitten die Rede sein.

3) Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. Taf. I. Fig. 1. S. 88—95. Die neuen Zuleitungsgefässe wurden zu allen in gegenwärtiger Abhandlung vorkommenden Versuchen benutzt, bei denen nicht durch die Natur der Sache die Anwendung der Zuleitungsröhren mit Thonspitzen geboten war.

den noch zwei Viertel jener Strecke folgweise abgetragen und die zugehörigen Spannungen verzeichnet. Je nachdem die abgeleitete Stelle des Längsschnittes am oberen oder am unteren Ende des Muskels liegt, ist die Kraft dabei im Muskel auf- oder abwärts gerichtet.

In der ersten der am Schluss der Abhandlung befindlichen Tabellen sind die Zahlen in den mit 0. 1. 2. 3. bezeichneten Columnen beziehlich die Spannungsunterschiede bei unverkürztem, bei um 1, 2 und 3 Viertel verkürztem Muskel, gemessen in der willkürlichen Einheit der Compensatorgrade und mit einem Grove zur compensirenden Kette. Das Pluszeichen bedeutet die auf-, das Minuszeichen die absteigende Richtung der Kraft.

Die Tabelle lehrt, dass bei dieser Versuchsweise die Verkürzung anfangs keine Veränderung der Kraft bewirkt, wodurch zufällige Umstände, die ein Schwanken der Kraft herbeiführen, überwogen würden. Nur das Abtragen des dritten Viertels zieht mit seltenen Ausnahmen ein Sinken der Kraft nach sich. In den „Untersuchungen" habe ich gezeigt, dass von zwei gleichnamigen Muskeln desselben Frosches, die durch zwei künstliche Querschnitte begrenzt, einerseits mit dem einen Querschnitt, andererseits mit dem Aequator aufgelegt werden, der längere meist die Oberhand hat[1]). Zwischen diesem Ergebniss und dem jetzigen besteht somit anscheinend ein Widerspruch, mit dessen Lösung wir uns indess hier nicht befassen wollen.

Wiederholen wir jetzt dieselben Versuche mit dem Unterschied, dass wir beim Verkürzen des Muskels senkrechte und schräge Querschnitte mit einander abwechseln lassen. Es versteht sich, dass man dies am nämlichen Muskel um so seltener wird thun können, je schräger man die Querschnitte macht und je breiter der Muskel im Vergleich zu seiner Länge ist. Dies erklärt, weshalb in der Tabelle II, welche das Ergebniss dieser Versuche enthält und sonst keiner Erläuterung bedarf, am

1) A. a. O. Bd. I. S. 694; — vergl. Bd. II. Abth. I. S. 266, wo dasselbe Gesetz für die Nerven bewiesen wird.

Rectus internus z. B. eine grössere Anzahl solcher Wechsel vorkommt, als am Adductor magnus. Wie man sieht, sinkt der Spannungsunterschied sehr regelmässig, wenn der Querschnitt schräg, und steigt wieder, wenn auch nicht immer zur früheren Höhe, wenn der Querschnitt wieder senkrecht gemacht wird.

Auf diesem Wege fällt der Beweis unseres Satzes etwas umständlich aus. Einfacher gelangt man dazu, indem man einen Muskel mit einem senkrechten und einem schrägen Querschnitt zwischen die Bäusche bringt. Bei gehöriger Neigung des schrägen Querschnittes erhält man fast stets einen mehr oder minder kräftigen Strom, der den schrägen Querschnitt als positiv gegen den senkrechten anzeigt.

Der Untersuchung der Ströme am Muskelrhombus ist ferner die Bemerkung voraufzuschicken, dass ich es mittels der Zuleitungsröhren mit Thonstiefeln jetzt dahin gebracht habe, am Adductor magnus oder Semimembranosus eines grossen Frosches das elektromotorische Verhalten der einzelnen Puncte eines oder zweier künstlichen Querschnitte gegen einander, als vollkommen dem Gesetz entsprechend, nachzuweisen. An einem und demselben Querschnitt war mir dies früher nur an Kaninchenmuskeln, an zwei Querschnitten aber noch gar nicht gelungen, da ich an Kaninchen keinen dazu passenden Muskel fand, meine früheren Vorrichtungen aber zu grob waren, um den Versuch am Frosch anzustellen [1]). Jetzt also lässt sich ohne Schwierigkeit darthun, dass jeder dem Umfang des Querschnittes nähere Punct sich positiv verhält gegen jeden der Mitte näheren, während schwächere Ausschläge in unbestimmter Richtung erfolgen, wenn man sich bemüht, die Spitzen solchen Puncten anzulegen, die gleich weit vom Umfang liegen; gleichviel ob die Puncte auf dem nämlichen Querschnitt oder auf dem oberen und unteren Querschnitt des Muskels gewählt sind.

Wiederholt man nunmehr diese Versuche an einem der schrägen künstlichen Querschnitte des Muskelrhombus, so fin-

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 507 — 512.

det man daran die Ströme völlig in der nämlichen Weise verändert, wie an dem schrägen natürlichen Querschnitt des Gastroknemius. Betrachten wir, wodurch die Uebereinstimmung deutlicher wird, den unteren Querschnitt, dessen grosse Axe die spitze Rhombusecke bei $G_{,}$ einschliessen hilft. Setzt man die beiden Spitzen, was natürlich nur an sehr grossen Muskeln ausführbar ist, dem schrägen künstlichen Querschnitt in dessen kleiner Axe $r'Cr_{,}$, oder so auf, dass ihre Verbindungslinie dieser Axe parallel ist, so giebt sich nichts besonderes zu erkennen. In der Richtung der grossen Axe hingegen macht sich, ganz wie der Länge nach am Achillesspiegel, die Störung geltend. In der Lage 1., wo ein schwacher Strom im Muskel aufsteigen sollte, erfolgt nämlich ein verhältnissmässig zu starker aufsteigender Strom. In der zur Mitte C der grossen Axe symmetrischen Lage 2., wo der Strom Null sein sollte, erhält man immer noch einen kräftigen aufsteigenden Strom, dessen Stärke mit der Spannweite des Bogens wächst. In der 3., wo der Strom absteigen sollte, ist er immer noch aufsteigend, obwohl schwächer als in der 2. Der aufsteigende Strom verschwindet erst in einer Lage, ähnlich der 4. Endlich erst in der Lage 5. erhält man einen stets nur sehr schwachen absteigenden Strom. Ja es kommt vor, dass entweder die beiden letzteren Fälle, oder wenigstens deren zweiter, gar nicht eintreffen, vielmehr der Strom, beim Verschieben des Bogens bis zur spitzen Rhombusecke, zuletzt nur verschwindet, ohne sich umzukehren, oder gar bis zuletzt, wenn auch nur spurweise, vorhanden und aufsteigend bleibt.

Die Erscheinungen am oberen Querschnitt, beim Verschieben des Bogens von der stumpfen nach der spitzen Rhombusecke, sind die nämlichen, nur dass für aufsteigend überall absteigend zu setzen ist, und umgekehrt. Aber auch die Ströme des Längsschnittes sind entsprechend verändert. Wir wollen, der Kürze halber, Längsschnittsseiten des Muskelrhombus die Durchschnittslinien einer durch die grossen Axen der schrägen Querschnitte $G'CG_{,}$, $\Gamma'K\Gamma_{,}$ gelegten Ebene mit dem Cylindermantel nennen. Betrachten wir diejenige dieser Längsschnittsseiten, $G_{,}m_{,}\Gamma_{,}$, welche mit der grossen Axe des unteren Quer-

schnittes den unteren spitzen Winkel des Rhombus bei *G*, einschliesst. Hier gestalten sich die Dinge folgendermassen. In der Stellung 6., wo ein schwacher Strom im Muskel aufsteigen sollte, tritt ein verhältnissmässig viel zu starker Strom in dieser Richtung ein. In der zur Mitte *m*, der Längsschnittsseite symmetrischen Lage 7., wo der Strom Null sein sollte, erhält man immer noch einen kräftigen aufsteigenden Strom, dessen Stärke mit der Spannweite des Bogens wächst. In der 3., wo der Strom absteigen sollte, ist er immer noch aufsteigend, obwohl schwächer als in der 7. Der aufsteigende Strom verschwindet erst in einer Lage ähnlich der 9. Endlich erst in der Lage 10. erhält man einen stets nur sehr schwachen absteigenden Strom. Ja es kommt vor, dass entweder die beiden letzteren Fälle, oder wenigstens deren zweiter gar nicht eintreffen, vielmehr der Strom, beim Verschieben des Bogens bis zur stumpfen Rhombusecke zuletzt nur verschwindet, ohne sich umzukehren, oder gar bis zuletzt, wenn auch nur spurweise, vorhanden und aufsteigend bleibt.

Die Erscheinungen an der anderen Längsschnittsseite, *G'm'Γ'*, beim Verschieben des Bogens von der spitzen nach der stumpfen Rhombusecke, sind die nämlichen, nur dass für aufsteigend überall absteigend zu setzen ist, und umgekehrt.

Das Ganze der sich hier kundgebenden Abweichungen vom Gesetze des Muskelstromes kann man sich offenbar dadurch hervorgebracht denken, dass an den vier Seiten des Muskelrhombus zu den gewöhnlichen Strömen solche hinzutreten, die an jeder Seite im Bogen von der stumpfen zur spitzen Ecke fliessen (11. 12. 13. 14. in der Figur), in den beiden unteren, die spitze Ecke *G*, einschliessenden Seiten also auf-, in den beiden oberen, die spitze Ecke *Γ'* einschliessenden Seiten abzusteigen scheinen. Man kann diese Ströme die N e i g u n g s s t r ö m e nennen, weil sie mit der Neigung des Querschnittes gegen die Axe der Bündel auftreten. Dass diese Annahme genügt, die beschriebenen Erscheinungen zu erklären, erhellt zum Theil mit Hülfe der nämlichen Construction, welche uns gedient hat, die ganz ähnlichen Erscheinungen am Achillesspiegel abzuleiten. Vergl. oben S. 550 und Fig. 10. *A*, wo die Abscissen-

axe $G'CG$, jetzt die ebenso bezeichnete grosse Axe des schrägen künstlichen Querschnittes, die Curve $NC'G$, aber die dem Neigungsstrome zu Grunde liegenden Spannungen bedeutet. Die entsprechende Construction für die eine Längsschnittsseite des Rhombus ist in Fig. 10. *B* durchgeführt. Die Abscissenaxe $G_{,}m_{,}\Gamma_{,}$ stellt die Seite des Rhombus vor, welche mit der vorigen die spitze Ecke bei $G_{,}$ einschliesst. Abermals ist die punctirte Curve $M''M_{,,}$ die der gewöhnlichen Muskelstrom-Spannungen, die gestrichelte $N'G_{,}$ gehört dem Neigungsstrom an, die ausgezogene RM'' bedeutet die resultirenden Spannungen. Auch hier sind in der Figur die Ordinatenunterschiede vorgestellt, wie sie sich in den am Rhombus sichtbaren fünf Lagen des Bogens gestalten, und man überzeugt sich leicht, dass sie der Grösse und dem Zeichen nach mit der Stärke und Richtung der Ströme übereinkommen, wie sie oben angegeben sind. Die Fälle, wo es an der Querschnitts- oder Längsschnittsseite eines Rhombus beim Verschieben des Bogens beziehlich nach der spitzen oder stumpfen Ecke nicht gelingt, den darin zur spitzen Ecke gerichteten Strom verschwinden, geschweige sich umkehren zu sehen, unterliegen der nämlichen Deutung wie das entsprechende Verhalten am Achillesspiegel (s. oben S. 552).

Die Neigungsströme treten rein hervor in den vier symmetrischen Lagen der Spitzen zu den Puncten $C_{,}'$ K, m' und $m_{,}$. Wird der Bogen aus der symmetrischen Lage zur Mitte einer Längsschnittsseite, z. B. aus der zu $m_{,}$ symmetrischen Lage 11. Fig. 11., so verschoben, dass die Verbindungslinie seiner Enden der Muskelaxe parallel bleibt, während deren Mitte eine dem Umfange der schrägen Querschnitte parallele Curve, den schrägen Aequator des Muskelrhombus $m_{,}\mu'm'$, beschreibt, so nimmt der aufsteigende Strom bis zur Durchschnittslinie $r'\mu'\varrho'$ stetig ab, schlägt hier in den absteigenden Strom um, und wächst als solcher wiederum, bis der Bogen die symmetrische Stellung 13. zu m' erlangt hat.

Es giebt noch eine andere Art, die Neigungsströme den schrägen Querschnitten entlang unvermischt mit dem gewöhnlichen Muskelstrom darzustellen. Dazu braucht man nur den Bogen z. B. in die mit 15. bezeichnete Lage zu bringen, wo-

bei seine Enden Längsschnitt in gleicher Entfernung vom Querschnitt berühren. Es entsteht ein starker Strom im Bogen von der stumpfen nach der spitzen Rhombusecke und aufsteigend im Muskel. Wird der Bogen dem Muskel entlang so verschoben, dass die Verbindungslinie seiner Enden stets auf einer dem Umfange des schrägen Querschnittes parallelen Curve bleibt, während deren Mitte die Gerade $r'\mu'\varrho'$ beschreibt, so nimmt der Strom ab bis zum Aequator des Muskelrhombus, schlägt hier um in die absteigende Richtung, und erreicht in dieser wieder eine grosse Stärke in der Lage 16., welche am oberen Querschnitt der Lage 15. am unteren entspricht.

Die Schneidepuncte μ', $\mu_{\prime}$ des schrägen Aequators mit den Geraden, in welchen eine durch die kleinen Axen der schrägen Querschnitte gelegte Ebene den Cylindermantel schneidet, sind gegen Längsschnittspuncte nah den spitzen Ecken stark, gegen solche nah den stumpfen Ecken schwach positiv, gegen letztere wohl nur als gegen dem Querschnitt nähere. Jene Schneidepuncte sind somit die positivsten der ganzen Oberfläche des Rhombus.

Natürlich mischen sich die Neigungsströme auch in den Erfolg bei Verknüpfung zweier den beiden Querschnitten, oder den beiden Längsschnittsseiten des Rhombus angehörigen Puncte. Puncte des einen Querschnittes oder der einen Längsschnittsseite, welche einer stumpfen Ecke nahe sind, verhalten sich positiv gegen die einer spitzen Ecke gleich nahen des anderen Querschnittes, beziehlich der anderen Längsschnittsseite u. s. f.

Die Neigungsströme summiren sich aber algebraisch nicht blos zu den durch das Gesetz des Muskelstromes zwischen Puncten des Längs- oder Querschnittes geforderten Strömen, sondern auch zum Strom zwischen Längs- und Querschnitt selber. Zwischen m', $m_{\prime}$ einerseits, und C, K andererseits, findet man den Muskelstrom im richtigen Sinne, wegen der Schräge der Querschnitte aber nur schwach vor (17. Fig. 11.). Dasselbe gilt überhaupt von Puncten des Längs- und des Querschnittes, die gleich weit von einer stumpfen oder von einer spitzen Rhombusecke liegen. Zwischen einem Puncte des Längsschnittes hingegen, der einer stumpfen, und einem Puncte des

Querschnittes, der einer spitzen Ecke nahe liegt, findet man einen auffallend kräftigen Strom vor (18. Fig. 11.). Er wird am stärksten, wenn man am Längsschnitt die Spitze einem der Schneidepuncte μ', $\mu_{,}$, aufsetzt, da dann der Bogen einen der beiden positivsten mit einem der beiden negativsten Puncte des Rhombus verknüpft. Endlich zwischen einem Puncte des Längsschnittes, der einer spitzen, und einem des Querschnittes, der einer stumpfen Ecke nahe liegt, findet man den Strom auf wenig Scalentheile beschränkt, ja häufig umgekehrt (19. Fig. 11.), so dass hier der natürliche Längsschnitt sich gegen den künstlichen Querschnitt negativ verhält, wie unter bestimmten Umständen am Gastroknemius gegen den natürlichen (s. oben S. 549), was uns aber jetzt nicht mehr, wie damals, den Eindruck des Unerhörten macht, da wir deutlich sehen, dass es sich in diesen Fällen nicht um eine Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt handelt, sondern um eine durch eine besondere Anordnung der elektromotorischen Elemente an jedem Muskel jederzeit hervorzurufende Abänderung der Resultirenden aus deren Wirkungen.. Fig. 10. A, B zeigt auch für diesen Fall (12.) den Ordinatenunterschied $R_q\ R_l$ der Curve der resultirenden Spannungen. Wie man sieht, fällt dessen Zeichen verschieden aus von dem des grösseren Unterschiedes $M_l\ M_q$ der zu denselben Abscissen gehörigen Ordinaten der Curve der Muskelstrom-Spannungen.

Der den Neigungsströmen zu Grunde liegende Spannungsunterschied ähnlich gelegener Puncte am schrägen Querschnitt muss nothwendig eine solche Function der Neigung des Querschnittes gegen die Faserrichtung sein, dass dieselbe ein Maximum hat, da zuletzt ein Punct kommt, wo der künstliche Querschnitt mit dem künstlichen Längsschnitt zusammenfällt. Es ist mir erschienen, als würde dieses Maximum erst bei einer Neigung beträchtlich grösser als 45° erreicht, doch ist es sehr schwer, hierüber etwas auszumachen.

Der Spannungsunterschied ähnlich gelegener Puncte an den schrägen Querschnitten und an den Längsschnittsseiten des Rhombus scheint gleich gross zu sein. Aber auch über diesen Punct gelangt man zu keinen scharfen Bestimmungen.

Was die absolute Grösse betrifft, der das Maximum des Spannungsunterschiedes zwischen den äussersten Puncten der schrägen Querschnitte oder der Längsschnittsseiten fähig ist, so sahen wir schon, dass dasselbe den Unterschied zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt übertrifft. Ueberraschend ist aber, dass dies Maximum sogar grösser wird, als der Unterschied zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt. Man erfährt dies, indem man die beiden grossen Adductoren desselben Frosches, deren einer wie gewöhnlich, der andere als Muskelrhombus zugerichtet ist, einander im nämlichen Kreise entgegengesetzt; jenen mit dem Aequator des Längsschnittes und dem einen künstlichen Querschnitt auf den Thonschildern der Zuleitungsgefässe, diesen mit den Thonspitzen der Zuleitungsröhren an den äussersten Puncten eines seiner schrägen Querschnitte, oder einer seiner Längsschnittsseiten. Meist zwar überwiegt der gewöhnliche Muskelstrom; oft aber kommt es auch vor, dass der Neigungsstrom der stärkere ist. Sehr regelmässig unterliegt der senkrecht durchschnittene Muskel, wenn man zum Neigungsstrom noch den Strom vom Längsschnitt zum schrägen Querschnitt fügt, indem man die am Querschnitt der stumpfen Ecke nahe Spitze einem der Schneidepuncte μ', $\mu_{\prime}$ anlegt. So haben wir unerwartet in dem Schrägdurchschneiden der Muskeln ein Mittel entdeckt, ihnen stärkere elektromotorische Wirkungen zu entlocken, als je bisher.

Dass der Adductor magnus hier keine ihm eigene Rolle spiele, bedarf kaum der Erwähnung. Am besten nach ihm, ja in mancher Hinsicht noch besser, schickt sich zur Darstellung der Neigungsströme der Semimembranosus. Aber auch am Sartorius kann man das Hauptsächlichste davon nachweisen, nur dass es schwer hält, mit den Spitzen am Querschnitt bis nah an die scharfen Ränder des Muskels zu gehen, ohne auf Längsschnitt überzutreten.

Die Neigungsströme sind nach dem Allen als eine den Strömen des Längs- und des Querschnittes, ja dem Strom zwischen Längs- und Querschnitt selbst, ebenbürtige Erscheinung aufzufassen, und als ein neuer regelmässiger Zug in

die Beschreibung des Muskels als Elektromotors aufzunehmen. Nach Darlegung des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt, und der Ströme am Längs- und am Querschnitt des senkrecht durchschnittenen Muskels, wird man fortan bemerken müssen, dass dieser Fall, in dem die Neigungsströme verschwinden, nur ein besonderer sei, und dass im allgemeinen Fall des schräg durchschnittenen Muskels, während die Negativität des Querschnittes abnimmt, die Neigungsströme auftreten, deren Stärke mit der Neigung des Querschnittes zuerst zunimmt und später wieder sinkt.

Um die Neigungsströme zu beobachten, ist es nicht nöthig, einen regelmässigen Muskelrhombus herzustellen. Wo immer man durch den Adductor magnus u. s. w. einen schrägen Querschnitt führe, man findet daran den Neigungsstrom richtig vor ($q' q_{,}$ Fig. 12.). Um das Verhalten der Neigungsströme am Längsschnitt eines solchen unvollständigen Rhombus zu ermitteln, legt man zuerst die beiden Thonspitzen dem Längsschnitt etwa in $l l_1$ an, ehe der Schnitt $l_1 l_2$ gemacht ist. In der Regel ist ein Strom vorhanden, der l, weil näher dem oberen natürlichen Querschnitt O, als schwach negativ gegen l_1 anzeigt. Wird der Muskel in $l_1 l_2$ durchschnitten, so kehrt sich dieser Strom um, weil nun l_1, als dem künstlichen Querschnitt näher, negativer ist als l, und der dadurch bedingte Strom, wie man annehmen muss, den Neigungsstrom überwiegt. Der Strom wächst, wenn man statt des schrägen Schnittes $l_1 l_2$ den senkrechten $l_1 l_3$ anlegt, weil der Neigungsstrom fortfällt, und weil ein senkrechter Querschnitt negativer ist als ein schräger. Der Strom wird am stärksten, wenn die rechte Ecke l_1 durch den Schnitt $l_1 l_4$ in eine spitze verwandelt wird, weil nun der Neigungsstrom, statt wie zuerst sich vom gewöhnlichen Strom abzuziehen, sich hinzufügt, und weil er, wie man annehmen muss, den Unterschied zwischen dem gewöhnlichen Strom bei schrägem und bei senkrechtem Querschnitt übertrifft. Die Neigungsströme machen sich hier also nur durch den beständigen und sehr auffallenden Unterschied bemerkbar, den sie in der Stärke der schwachen Ströme des Längsschnittes hervorbringen, je nachdem letzterer an eine stumpfe oder an eine spitze Ecke stösst.

Das Zuschneiden des Muskelrhombus aus dem Adductor magnus bringt es mit sich, dass die beiden stumpfen Ecken der Mitte, die beiden spitzen den Enden des Muskels angehören. Man könnte den Verdacht fassen, der im Muskel von jeder spitzen Ecke zu den beiden stumpfen gerichtete Strom sei die Folge eines vorherbestehenden elektromotorischen Unterschiedes zwischen der Mitte und den Enden des Muskels, der dann auch die Ursache der schwachen Ströme des Längsschnittes enthalten könnte. Doch ist so eben bemerkt worden, dass man die Neigungsströme richtig vorfindet, wo immer man den schrägen Querschnitt führe, und was insbesondere diese Ströme an den Längsschnittsseiten betrifft, so sahen wir sie daran in Folge des Anlegens des schrägen Querschnittes hervortreten. Hier können sie demnach nicht auf vorherbestehenden Unterschieden beruhen. Die Neigungsströme am Querschnitt aber haben, wie Fig. 12. verdeutlicht, an zwei zusammengehörigen Querschnitten entgegengesetzte Richtung. Die obige Vorstellung würde also verlangen, dass eine Stelle des Muskelinneren q' sich zu einer anderen Stelle q, positiv und auch negativ verhielte, was ungereimt ist. Legt man die Spitzen zwei Puncten des noch undurchschnittenen Muskels an, die schräg über einander liegen, wie l_5, l_6, so erhält man einen schwachen Strom, der von der Lage der Puncte zum Aequator abhängt. Wird dann daran vorbei der schräge Schnitt $l_1 l_2$ geführt, so tritt der Neigungsstrom des Querschnittes jetzt ebenso hervor, wie vorher der des Längsschnittes bei der Lage $l l_1$ der Spitzen und dem Führen der Schnitte $l_1 l_2$, $l_1 l_4$.

Ueber den Einfluss der Dimensionen der Muskelrhomben auf die Stärke der Neigungsströme fehlt es noch an Versuchen, und wird es sehr schwer sein etwas auszumachen.

Eine bemerkenswerthe Abänderung der Versuche am Muskelrhombus entsteht, wenn man einen Muskel so zuschneidet, wie Fig. 13. zeigt. Die mit + bezeichneten Ecken dieses Präparates sollen zur Erinnerung an ihren Ursprung Längsecken, die mit — bezeichneten Querecken heissen. Das Gesetz der Ströme gestaltet sich hier folgendermaassen. Die vier Schnittflächen im Ganzen sind untereinander gleichartig, da sie

gleiche Winkel mit der Faser machen. Auch finden in diesen Schnittflächen keine Ströme mehr statt von den Ecken zu deren Mitte oder umgekehrt. Ferner sind Puncte dieser Schnittflächen, und solche des Längsschnittes, die gleich weit von einer Längsecke oder von einer Querecke abstehen, ebenfalls unter einander gleichartig. Dagegen findet man kräftige Ströme vor von Puncten des Quer- oder des Längsschnittes, welche einer Längsecke näher sind, durch den Bogen zu solchen, welche einer Querecke näher sind. Dies sind offenbar wieder Neigungsströme. Liegt der Bogen Längs- und Querschnitt zugleich an, so summirt sich zu jenen Strömen algebraisch ein Strom in der gewöhnlichen Richtung des Muskelstromes, jedoch schwach wegen der Neigung des Querschnittes gegen die Faser. Er kann durch die Neigungsströme, unter den geeigneten Umständen, übermannt werden. Rein erhält man ihn, wenn man den Bogen einem Puncte des Längsschnittes und einem Puncte des Querschnittes anlegt, die gleich weit von einer Quer- oder einer Längsecke liegen. Im Gegensatz zu der zuerst beschriebenen Form des Muskelrhombus können an einem *Muskelrhombus zweiter Art*, wie ich das gegenwärtige Präparat nenne, sowohl die Längs- als die Querecken, d. h. sowohl die positiven als die negativen Ecken des Rhombus die stumpfen, oder auch alle vier Ecken rechte sein.

Bei Wiederholung der in diesem Paragraphen dargelegten Versuche darf man, wie kaum erwähnt zu werden braucht, nicht darauf rechnen, dass man sämmtliche hier geschilderte Einzelheiten an einem und demselben Muskelrhombus in gleicher Ausprägung zu sehen bekomme. Es liegt z. B. in der Natur der Dinge, dass man die Neigungsströme an den vier Seiten eines solchen selten von gleicher Stärke erhält, u. dgl. m. Ohnehin sterben die Muskelrhomben zu schnell ab, um zu einer so ausgedehnten Versuchsreihe Zeit zu gewähren.

§. VII.

Die Neigungsströme am Muskelrhombus, welche zur Erklärung der besonderen elektromotorischen Wirkungen des Gastroknemius geeignet sind, lassen sich auch an den passend abgeänderten Muskelmodellen aus Kupfer und Zink nachweisen.

Hier könnten wir mit unseren Ermittelungen über die Neigungsströme stehen bleiben. Unsere Kenntniss derselben reicht, wie ich bald zeigen werde, bereits aus, um die besonderen, am Gastroknemius wahrgenommenen elektromotorischen Erscheinungen zu erklären. Ehe wir zu dieser Anwendung der neuen Ströme schreiten, wollen wir dieselben um ihrer selbst willen etwas weiter verfolgen.

Bekanntlich habe ich vermocht, die verschiedensten elektromotorischen Wirkungen der Muskeln und Nerven mittels schematischer Vorrichtungen aus Kupfer und Zink sehr vollständig nachzuahmen. Ich war daher begierig zu versuchen, ob mir dies jetzt auch mit den Neigungsströmen gelingen würde. Vorzüglich lag mir daran, auch an dem Modell die scheinbare Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt, in Folge der Ueberwältigung des Stromes vom Längs- zum Querschnitt durch den Neigungstrom, zu beobachten.

Bei der Beschreibung der folgenden Versuche setze ich meine früheren, ähnlichen Versuche, und die bei deren Darstellung gebrauchten Ausdrücke [1], als bekannt voraus.

Zuerst bediente ich mich peripolarer Molekelmodelle, oder wie ich der Kürze halber sage, Molekeln; derselben, welche in meinem Werke beschrieben sind. Die Fig. 14. Taf. XV., die, wie auch Fig. 15., 16. und 17., halbe natürliche Grösse hat, zeigt die Art, wie die Molekeln angeordnet wurden, um einen Muskelrhombus nachzuahmen. Sie stellt im Grundriss, von unten gesehen, einen Theil des rautenförmigen, 13 Mm. dicken, gefirnissten Brettchens vor, auf dessen untere Fläche die Molekeln aufgekittet waren. Die durch eine

1) Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 672 ff.; — Taf. VI. Fig. 74. 75.; — Bd. II. Abth. II. S. 93 ff. Taf. V. Fig. 143.

einfache Linie begrenzten Abschnitte des Umfanges der Molekeln bedeuten negative, die durch eine doppelte, positive Begrenzung desselben. Um jede Molekel an den richtigen Ort zu bringen, war zuerst auf die untere Fläche des Brettchens das in der Figur bemerkbare Netz eingerissen worden, welches den Hof jeder einzelnen Molekel bezeichnete. Der Molekeln waren im Ganzen 96; sie bildeten acht parallele Reihen, von denen die Figur nur vier vorstellt, zu zwölf Molekeln jede. Jede Reihe überragte immer die vorige um eine Molekel. Zwischen den Kupferpolen je zweier in einer Reihe, und zwischen den Zinkzonen je zweier in zwei Reihen einander benachbarten Molekeln blieb 1 Mm. Abstand. Der Hof einer Molekel war 12 Mm. lang, 14 Mm. breit. Die Längsschnittsseite des Rhombus mass demgemäss 156 Mm., die Querschnittsseite 147,5 Mm., und der spitze Winkel etwa 49°.

Denkt man sich durch einen Muskelrhombus zwei parallele einander äusserst nahe Ebenen so gelegt, dass sie der durch die grossen Axen der elliptischen Grundflächen gelegten Ebene parallel sind und dieselbe zwischen sich fassen; und denkt man sich die so erhaltene dünne Scheibe senkrecht auf ihre eigene Fläche verdickt, so würde nach meiner Hypothese die Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile darin wesentlich dieselbe sein, wie in dem beschriebenen Modell. Versenken wir dies in einen feuchten Leiter von passender Gestalt, so müssen sich beim Anlegen eines Bogens an diesen Leiter die Neigungsströme im Conflict mit dem gewöhnlichen Strom zeigen, wie wir sie am Umfange der Durchschnittsfigur des Muskelrhombus mit der durch die grossen Axen seiner Querschnitte gelegten Ebene fanden.

Zur Handhabung des Modells diente ein Griff an der oberen Fläche des Brettes. Der Trog, in den das Modell versenkt wurde, war aus gefirnisstem Holz, im Lichten 340 Mm. lang, 152 Mm. breit und 40 Mm. tief. Durch hineingestellte hölzerne gefirnisste Klötze von 40 Mm. Höhe wurde ihm die der Gestalt des Modells entsprechende Rautenform gegeben, und es war die Einrichtung getroffen, dass entweder nur vor einer Längsschnitts- oder nur vor einer Querschnittsseite

oder auch vor zwei an einander stossenden, entweder einen spitzen oder einen stumpfen Winkel des Rhombus einschliessenden Seiten, eine 20 Mm. breite Rinne zur Ableitung der Ströme offen blieb. In Fig. 14. ist der von unten gesehene Grundriss des Modells in den Trog hineingezeichnet worden, und man sieht die Rinne vor zwei, eine stumpfe Ecke einschliessenden Seiten offen. Der Trog wurde so hoch mit Brunnenwasser gefüllt, dass die Molekeln ganz darin eintauchten, wenn durch das Versenken des Modells das Wasser stieg. Damit dabei das Wasser nicht durch die Luft verhindert würde, zwischen die Molekeln einzudringen, und damit es beim Herausheben leichter abflösse, war das Brett in den Lücken zwischen den Molekeln häufig durchbohrt (s. bei l, l' in der Figur).

Bei meinen früheren Versuchen an solchen Modellen hatte ich zu kämpfen mit der Schwäche der Wirkungen, welche zum Theil daher rührte, dass dabei eine doppelte Polarisation stattfand, erstens an den Molekeln selber, zweitens an den zur Ableitung benutzten Platinelektroden. In Folge dieser doppelten Polarisation war nicht daran zu denken, beständige Ablenkungen von den Modellen zu erhalten. Vielmehr war ich darauf angewiesen, stets nur den ersten Ausschlag zu beobachten, der erfolgte, wenn ich das Modell eintauchte, nachdem die durch den Multiplicator zum Kreise geschlossenen Platinelektroden ihre Stellung erhalten hatten.

Die Polarisation an den Molekeln selber liesse sich vermeiden, wenn man die bisher von mir angewendeten Modelle derselben ersetzte durch unpolarisirbare Elektroden beständiger Säulen. Ich habe noch nicht Zeit gehabt, diese Einrichtung zu treffen, und mich vor der Hand damit begnügt, die Polarisation an den Elektroden des ableitenden Bogens wegzuschaffen. Dazu wurden die Platinelektroden ersetzt durch verquickte Zinkplatten, welche in Papptröge voll gesättigter schwefelsaurer Zinklösung tauchten, und diese Tröge wurden in die längs dem Modell offene Rinne da hingestellt, von wo die Ableitung geschehen sollte, wie Fig. 14. es für den Fall des Neigungsstromes im Conflict mit dem Strom von Längs- zu Querschnitt zeigt. Die Papptröge waren mit Kolophoniumkitt ge-

klebt, flach parallelepipedisch, im Lichten 8 Mm. breit, 50 Mm. hoch, und bis zum Rande mit der Lösung gefüllt. Ihre Länge richtete sich nach der Breite der Zinkplatten. Von letzteren hatte ich zwei Paar, das eine 50, das andere 22,5 Mm. breit. Die zugehörigen Tröge maassen beziehlich 52 und 24,5 Mm. In der Figur sind die längeren Tröge und breiteren Platten dargestellt. Zur Beobachtung der Ströme diente die Spiegelbussole, von der aber nur 3000 Windungen in 10—25 Mm. Abstand vom Spiegel in Gebrauch kamen. Etwa auftauchende Ungleichartigkeiten machte der Compensator unschädlich.

In Folge des so erzielten Fortfalles der einen Polarisation erlangten zwar die Wirkungen eine ansehnlich grössere Stärke als in meinen früheren Versuchen. Doch blieben sie so unbeständig, dass ich es noch immer bei der Beobachtung des ersten Ausschlages beim Eintauchen des Modells bewenden lassen musste. Die hinterbleibenden beständigen Ablenkungen waren nicht blos sehr schwach, sondern zeigten auch oft die verkehrte Richtung.

Zwischen je zwei Versuchen wurde das Modell fünf Minuten lang zum Trocknen und Depolarisiren auf Fliesspapier gestellt. War es so eine Zeitlang gebraucht worden, so wurde seine Wirkung auch beim ersten Eintauchen so schwach und unregelmässig, dass sich nichts mehr damit anfangen liess. Das Eintreten dieses Zustandes wurde dadurch verzögert, dass das Modell in verdünnter Chlorwasserstoffsäure gebadet, oder dass eine kleine Menge dieser Säure dem Wasser im Troge zugesetzt wurde. Es wurde sichtlich dadurch ein Niederschlag von Kalksalzen gelöst, beziehlich zu entstehen verhindert, der sich beim Verdunsten des Brunnenwassers auf die Molekeln ablagerte. Auf die Dauer indess half auch dies nicht. Dann überzog sich das Kupfer in der Nähe des Zinks mit einer Oxydhaut, welche vielleicht dadurch zu Stande kommt, dass diese Puncte des Kupfers sich zu den vom Zink entfernteren stark positiv verhalten[1]). Wie dem auch sei, ist das Modell einmal in diesen

1) S. meine Versuche über „flache Erregerpaare". Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 596 ff.

Zustand gerathen, so bleibt nichts übrig als die Molekeln loszubrechen, blank zu scheuern und neu aufzukitten. Das sehr mühsame Reinigen der Molekeln wird erleichtert, indem man etwa 30 derselben auf einen Stab schiebt, sie mit einer Schraube festklemmt, und gleichzeitig putzt.

Bei alledem gelang es ohne Schwierigkeit, den vier Seiten des Modells entlang die Neigungsströme richtig zu beobachten. Ertheilte ich den breiteren Zinkplatten in ihren Papptrögen symmetrische Stellungen zur Mitte irgend einer Seite des einzutauchenden Modells, so entstand stets beim Eintauchen ein starker Ausschlag, der die der stumpfen Rhombusecke nähere Platte als positiv gegen die der spitzen Rhombusecke nähere anzeigte. Zwischen Stellen des Längs- und Querschnittes, die gleich weit von einer stumpfen oder einer spitzen Rhombusecke lagen, erfolgte stets der Strom vom Längs- zum Querschnitt. Wurden den Platten am Längs- und am Querschnitt verschiedene Abstände von den stumpfen und spitzen Rhombusecken ertheilt, so dass die Neigungsströme mit dem Strom vom Längs- zum Querschnitt in Conflict geriethen, so zeigte sich der letztere Strom bedeutend verstärkt, wenn die Längsschnittsplatte einer stumpfen, die Querschnittsplatte einer spitzen Ecke nahe war. Als dagegen das Umgekehrte stattfand, hatte ich wirklich die Genugthuung, den Neigungsstrom von der stumpfen zur spitzen Rhombusecke den Strom vom Längs- zum Querschnitt überwältigen, mit anderen Worten, ganz wie am natürlichen Muskelrhombus unter denselben Umständen, den Längsschnitt negativ gegen den Querschnitt zu sehen (vergl. die Figur).

Ich versuchte ferner, die Neigungsströme sich mit den schwachen Strömen des Längs- und des Querschnittes algebraisch summiren zu lassen. Abermals wurden beide Platten vor der einen Seite des einzutauchenden Modells aufgestellt; aber diesmal die eine vor der Mitte der Seite, die andere nahe einer der Ecken. Hier war es, wo aus leicht begreiflichen Gründen die schmalen Platten zur Anwendung kamen. Der Erfolg musste sein, dass am Längsschnitt der Strom zwischen Mitte und stumpfer Ecke in derselben oder der anderen Richtung, wie der von der Mitte zur spitzen Ecke, jedenfalls aber

schwächer ausfiel; und dass am Querschnitt der Strom zwischen Mitte und spitzer Ecke in derselben oder der anderen Richtung, wie der von der stumpfen Ecke zur Mitte, jedenfalls aber schwächer ausfiel. Der Erfolg war, dass der Strom stets die Richtung im ableitenden Bogen nach der spitzen Ecke zu hatte, d. h. dass der Neigungsstrom stets den schwachen Strom des Längs- oder Querschnittes überwog, und dawider war nichts zu erinnern. Nicht in der Ordnung erschien dagegen, dass nur an den beiden Längsschnittsseiten das Verhältniss der Stromstärken vor den beiden Hälften der Seite das oben bezeichnete war. An den beiden Querschnittsseiten gestaltete es sich mit Hartnäckigkeit umgekehrt. Diese Abweichung hat hier um so weniger zu bedeuten, als nichts beweist, dass sie sich auf die Neigungsströme, und nicht vielmehr auf die schwachen Ströme des Querschnittes bezog.

Da die Annahme nicht weiter in sich gegliederter peripolarer Molekeln in den Muskeln nicht ausreicht, die parelektronomische Schicht und die Umkehr des Gegensatzes zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt an absterbenden Muskeln[1]) zu erklären, vielmehr hierzu die peripolaren Molekeln durch peripolare Gruppen dipolarer Molekeln zu ersetzen sind, so beschloss ich, die obigen Versuche auch noch mit einem aus dipolaren Molekeln bestehenden Modell zu wiederholen. Dies ist in Fig. 15. vorgestellt. Der dipolaren Molekeln waren im Ganzen 126. Sie bildeten neun parallele Reihen, von denen die Figur nur fünf vorstellt. Jede Reihe bestand aus sieben peripolaren Gruppen, jede Gruppe aus zwei Molekeln. Jede Reihe überragte immer die vorige um eine Molekel, so dass die Molekeln einer senkrecht auf die neun Längsreihen verfolgten Querreihe, wie *ab* in der Figur, ihr Zink abwechselnd nach der einen und nach der anderen Richtung kehrten. In jeder Gruppe waren die Zinkpole der sie bildenden Molekeln einander so nahe wie möglich, ohne jedoch einander zu berühren; zwischen den Kupferpolen, die sich je zwei Gruppen derselben Reihe zukehrten, und zwischen den

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 555 ff.

einander benachbarten Molekeln zweier Reihen blieb 1 Mm. Abstand. Der Hof einer peripolaren Gruppe war 25 Mm. lang, 13,5 Mm. breit. Die Längsschnittsseite des Rhombus mass demgemäss 187,5 Mm., die Querschnittsseite 165,6, und der spitze Winkel etwa 47°. Ein Satz von Klötzen diente, um vor einer, beziehlich zwei an einander stossenden Seiten auch dieses Modells in dem oben beschriebenen Troge 20 Mm. breite Rinnen herzustellen; und so gilt ferner Alles vom peripolaren Modell Gesagte für das dipolare.

Nicht minder ist dies im Wesentlichen der Fall, was das Ergebniss der Versuche betrifft. Es wurden vollkommen sicher und regelmässig beobachtet die Neigungsströme zwischen symmetrischen Puncten des Längs- und des Querschnittes, an allen vier Seiten des Modells; und dieselben sich algebraisch summirend zum Strom von Längs- zum Querschnitt, bald ihn verstärkend, bald ihn schwächend, ja überwiegend, so dass der Querschnitt sich positiv gegen den Längsschnitt verhielt. Unrein war dagegen auch hier das Ergebniss in Bezug auf die Ströme zwischen asymmetrischen Puncten des Längs- und des Querschnittes. Diese hatten durchgängig die Richtung der Neigungsströme. Aber nur an der einen Längsschnitts- und der einen Querschnittsseite ergab sich das Verhältniss der Stromstärken vor den beiden Hälften der Seiten wie es sein sollte. An den beiden anderen Seiten war es verkehrt.

Inzwischen ist hier so wenig, wie am Modell mit den peripolaren Molekeln, deshalb der Versuch als fehlgeschlagen anzusehen, die Neigungsströme mittels der schematischen Vorrichtungen nachzuahmen. Es kann vielmehr schon jetzt keine Frage sein, dass die Molecularhypothese sich auch dieser Erscheinung gewachsen gezeigt hat.

Jetzt wünschte ich noch zu erfahren, wie eine andere Hypothese, die man in Betreff der Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile im Muskel machen kann, auf diesem Prüfstein bestehen würde: die nämlich, wonach das Muskelbündel, oder auch die Muskelfibrille, vergleichbar wäre einem kupfernen, am Mantel verzinkten, mit einer Schicht feuchten Leiters bekleideten Cylinder. Es giebt zwar bereits mehrere

Gründe, aus welchen diese Hypothese zu verwerfen ist. Allein man kann in diesem Gebiete gar nicht genug Beweise häufen, und so versuchte ich denn, ob ich mit einem Modell, welches diesen elektromotorischen Bau des Muskels voraussetzt, die Neigungsströme richtig erhalten würde.

Fig. 16. stellt einen Theil des neuen Modelles vor. Das rautenförmige Brett hatte genau einerlei Gestalt und Grösse mit dem, welches die peripolaren Molekeln trug. An die Stelle der acht Längsreihen von Molekeln traten hier ebenso viele 144 Mm. lange, 13 Mm. breite, gleich den Molekeln 12,5 Mm. hohe Rechtecke, deren lange Seiten aus Zink, ihre kurzen Seiten aus Kupfer bestanden. In der Figur, welche vier davon, nebst der Art ihrer Befestigung zeigt, ist diesmal das Zink einfach, das Kupfer doppelt contourirt. Zwischen ihren langen Seiten liessen die Rechtecke 1 Mm. Zwischenraum, und jedes Rechteck überragte das vorige stets um 12 Mm. Denkt man sich den Muskelrhombus auf eine einfache Schicht von Muskelbündeln oder -fibrillen zurückgeführt, deren Axen sämmtlich einander parallel in einer Ebene liegen; denkt man sich jederseits von dieser Ebene, ihr parallel und äusserst nahe, eine Ebene durch jene Schicht gelegt; denkt man sich endlich die durch die beiden seitlichen Ebenen begrenzte dünne Scheibe senkrecht auf ihre eigene Fläche verdickt, so würde nach der jetzt zu prüfenden Hypothese die Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile darin wesentlich dieselbe sein, wie in dem Modell mit den Rechtecken. Wie man sieht, ist dabei die Annahme gemacht, auf die wir noch zurückkommen werden, dass am schrägen Querschnitt die einzelnen Bündel oder Fibrillen senkrecht durchschnitten seien; da, wenn man sie sich schräg durchschnitten vorstellt, so dass die einzelnen Querschnitte in Einer Flucht liegen, gar nicht zu verstehen ist, wie die elektromotorische Wirkung eine andere sein könnte, als bei senkrechtem Querschnitt.

Das Modell mit den Rechtecken wurde ebenso und mit denselben Hülfsmitteln untersucht, wie die anderen Modelle. Obschon ich aber diese Untersuchung dreimal von Frischem angestellt habe, ist es mir nicht gelungen, mich von dem Dasein

der Neigungsströme an jenem Modell zu überzeugen. Bei symmetrischer Stellung der Platten vor dessen Seiten erfolgten bald stärkere, bald schwächere Ausschläge bald im einen, bald im anderen Sinne. Befanden sich beide Platten vor dem Längsschnitt, und wurde die eine, wie die Figur zeigt, möglichst in die spitze Ecke gerückt, so erschien zwar diese Platte regelmässig negativ gegen die andere, so dass der Anschein eines Neigungsstromes entstand. Dies rührte aber blos daher, dass alsdann die negative Platte näher dem Querschnitt war; die Stellung hatte in Wahrheit aufgehört, eine symmetrische zu sein. Somit scheint das Ziel erreicht, welches wir uns bei diesem Versuche vorsetzten. Es scheint erwiesen, dass die Hypothese, welche im Bündel oder der Fibrille einen negativen Cylinder mit positiver Hülle sieht, unfähig ist, die Neigungsströme, gleichviel wie sie zu Stande kommen, mit zu umfassen. Inzwischen ist fraglich, ob nicht, wegen des grossen Unterschiedes zwischen den Leitungsverhältnissen an den Modellen und denen am Muskel, an den Modellen ein Unterschied in der Wirkung einem solchen in der Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile entspreche, wo dies am Muskel nicht stattfinden würde.

Schliesslich habe ich auch noch mittels der peripolaren Molekeln den oben S. 570. 571 beschriebenen Muskelrhombus zweiter Art nachgebildet. Die Vorrichtung, die dazu diente, zeigt Fig. 17. Längs der kleineren Diagonale $QQ_{\prime}$ eines Brettchens in Form eines verschobenen Quadrates wurden 13 Molekeln so aufgekittet, dass der ihre Kupferpole verknüpfende kleinere Durchmesser in jener Diagonale lag. Die beiden äussersten Molekeln bildeten die beiden stumpfen Querschnittsecken des Rhombus (vergl. oben ebend.). Jederseits von dieser Reihe, nach den Längsschnittsecken zu, deren eine man bei L in der Figur sieht, folgte eine von 11, dann eine von 9 Molekeln, und so fort; bis zuletzt die siebente Reihe nur noch aus einer Molekel bestand, welche die spitze Längsschnittsecke des Rhombus abgab. Die Höfe der Molekeln waren wie früher 12 Mm. lang, 14 Mm. breit. Daraus ergeben sich die grössere Diagonale des Brettchens zu 196, die kleinere zu 168,

jede der Seiten zu 129 Mm., und der stumpfe Winkel zu etwa 98°. Ein Satz von Klötzen diente dazu, auch für dies Modell den Trog passend zu verengen.

Der Erfolg war, wie nach dem Vorigen vorauszusehen, ganz entsprechend dem an den natürlichen Muskelrhomben zweiter Art. Von der einer Längsschnittsecke näheren Ableitungsplatte ging der Strom durch den Bogen zu der einer Querschnittsecke näheren, gleichviel ob sich beide Platten vor der nämlichen oder vor zwei beliebigen Seiten des Rhombus befanden. Die Platten verhielten sich dagegen beziehungsweise gleichartig, wenn sie vor zwei beliebigen Seiten des Rhombus in gleicher Entfernung von den positiven oder negativen Ecken verweilten.

§. VIII.

Die Neigungsströme werden theoretisch hergeleitet aus dem Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt.

Hier wäre der Ort, die theoretische Ableitung der Neigungsströme zu versuchen. Ehe wir uns an diese Aufgabe wagen, ist es nothwendig, über die Theorie des Muskel- und Nervenstromes im Allgemeinen Einiges voraufzuschicken.

Nachdem ich in meinem Werke die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes auch an den aus Molekeln zusammengefügten Modellen nachgewiesen zu haben glaubte, unternahm ich es mit unzulänglichen Mitteln, diese Ströme zu erklären unter der Voraussetzung, ich hätte es in den Muskeln und Nerven und in den Modellen zu thun mit peripolaren Molekeln oder Molekelgruppen von gleicher und beständiger Kraft. Diese sollten, in Längsreihen und Querschichten angeordnet, den Raum gleichmässig erfüllen, so dass auf jede Molekel oder Gruppe ein aliquoter Theil des Raumes, der Hof, käme, innerhalb dessen sie eine identische Lage einnähme. Dabei beging ich einen doppelten Fehler.

Ich sah nämlich zwar richtig ein, dass bei dieser Annahme ohne angelegten Bogen kein Strom durch die Masse des Elektromotors kreise, vielmehr der Strömungsvorgang jeder Molekel auf deren Hof beschränkt bleibe. Ferner war mir klar, dass

beim Anlegen eines Bogens an Längs- und Querschnitt, durch den Bogen und durch die Masse des Elektromotors ein Strom entstehe, dessen Verlauf in letzterer ich übrigens nicht anzugeben wusste. Die Entstehung eines Stromes beim Anlegen des Bogens nur an Längs- oder Querschnitt erschien mir als eines der schwierigsten Räthsel. Ich betrachtete dieselbe aber als ausgemacht, weil ich, und dies war der eine meiner Irrthümer, mich auf den Erfolg an den Modellen verliess, ohne zu bedenken, dass daran wegen der Polarisation die Voraussetzung der gleichen und beständigen Kraft der Molekeln nicht erfüllt sei. Demgemäss suchte ich die schwachen Ströme, trotz allen Dunkelheiten, auf die ich dabei stiess, von diesem Standpunct aus zu erklären; und der zweite Irrthum, in den ich verfiel, war, dass ich mich überredete, diese Erklärung sei mir gelungen [1]).

Fünf Jahre später wendete Hr. Helmholtz, welcher Zeuge und Theilnehmer meiner Bemühungen gewesen war, seine Aufmerksamkeit nachhaltig diesem Gegenstande zu, und bewältigte, mit der von ihm auf so vielen Puncten siegreich erprobten zergliedernden Kraft, dessen transscendente Schwierigkeit. Auf Grund seines Satzes von der elektromotorischen Oberfläche zeigte er, dass unter jener Voraussetzung die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes in der That unerklärt bleiben. In dem nur dem Längs- oder nur dem Querschnitt angelegten Bogen entsteht kein Strom, weil die Enden des Bogens Stellen von gleicher mittlerer Spannung berühren. Ebenso erklärt sich nicht, unter derselben Voraussetzung, die grössere elektromotorische Kraft längerer oder dickerer Muskeln oder Nerven [2]); und nicht minder unerklärt, lässt sich hinzufügen, bleibt dabei das von mir so genannte Gesetz der Spannweiten, vielmehr würde der Spannungsunterschied zwischen Längs- und Querschnitt unabhängig sein von der Lage der abgeleiteten Puncte, und diese den Strom nur insofern beeinflussen, als der Widerstand des Muskels oder Nerven zwischen den verschiedenen Puncten verschieden ist.

---

1) Untersuchungen u. w. w. Bd. I. S. 640 ff.

2) Poggendorff's Annalen u.s.w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 211. 352.

Wie die Sachen stehen, handelt es sich zunächst darum, dies Ergebniss einer zweifellos richtigen Theorie in Einklang zu bringen mit dem der nicht minder zweifellos richtigen Beobachtung an den Muskeln und Nerven. Dazu bietet sich folgender Weg. Ich habe bereits in meinem Werke gezeigt, dass, für den Fall einer den Muskel, der aus gleich kräftigen und beständig wirkenden Molekeln bestehend gedacht wird, bekleidenden unwirksamen Schicht, jede Schwierigkeit für die Erklärung der schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes fortfällt. Alsdann fliesst durch diese Schicht ein Strom vom Längs- zum Querschnitt, ähnlich dem in der Schicht feuchten Leiters, welche einen kupfernen, am Mantel verzinkten Cylinder überzieht [1]). Von diesem Strom wird sich durch einen zwei Puncten der unwirksamen Schicht angelegten Bogen ein Zweig ergiessen. Zeichen und Grösse des diesen Stromzweig erzeugenden Spannungsunterschiedes zu bestimmen, gelingt jetzt in dem Maasse, wie man die elektromotorische Oberfläche der unwirksamen Schicht zu construiren vermag. Im Allgemeinen lässt sich deren Beschaffenheit wohl angeben.

Die unwirksame Schicht hat, entsprechend dem damit, wie wir annehmen wollen, überall gleich dick überzogenen wirksamen Inneren, die Gestalt eines Cylinders. Kreise, die man sich am Mantel des Cylinders dem Aequator parallel von diesem bis zur Grundfläche, dann auf der Grundfläche, deren Umfang concentrisch, gezogen denkt, werden isoëlektrische Curven sein, deren Spannung in der genannten Richtung nach einem verwickelten Gesetz sich abstuft. Da das Strombett sich vom Aequator und den Polen nach der Grenze zwischen Längs- und Querschnitt hin verengt, so werden hier die isoëlektrischen Curven gleichen Unterschiedes dichter gedrängt sein, als dort. Daraus ergeben sich die Ströme des Längs- und des Querschnittes, deren Anschwellen nach jener Grenze hin, und das Gesetz der Spannweiten. Dass von zwei Muskeln oder Nerven, die sich nur durch die Länge, oder nur durch den Querschnitt ihres wirksamen Inneren unterscheiden, bei gleicher

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 649 ff. 674.

relativer Spannweite des Bogens beziehlich der längere und der dickere überwiegen müsse, lässt sich gleichfalls jetzt einsichtlich machen, wenn auch ohne die kaum ausführbare Rechnung nicht streng beweisen.

Denkt man sich die unwirksame Schicht immer mächtiger, oder immer besser leitend, so kommt ein Punct, wo in allen Lagen des Bogens die Ströme aufhören merklich zu sein. Da sie bei verschwindender Schicht am Längs- und am Querschnitt, bei nicht leitender Schicht wiederum in allen Lagen des Bogens, gleichfalls unmerklich werden, so giebt es einen Grad der Mächtigkeit und der Leitungsgüte der Schicht, der für das Hervortreten der schwachen Ströme, und der daran sich knüpfenden Umstände, am günstigsten ist.

Es fragt sich nun, ob man ein Recht habe, am Umfang des Muskels und Nerven eine solche unwirksame Schicht anzunehmen. Am natürlichen Längsschnitt der Muskeln liesse sich als solche das Perimysium, an dem der Nerven das Perineurium auffassen. Am natürlichen Querschnitt könnte der sehnige Ueberzug deren Rolle spielen. Am künstlichen Querschnitt ist die grösste Wahrscheinlichkeit vorhanden dafür, dass die dem Schnitte nächste Schicht sehr rasch unwirksam werde. Am künstlichen Längsschnitt müsste man sich auf das Sarkolemm und das Neurilemm [1]) berufen, wobei freilich nur die Ströme am Längsschnitt, nicht zugleich die am Querschnitt verständlich würden. Es ist aber noch eine andere Möglichkeit zu berücksichtigen, welche Hr. Helmholtz angedeutet hat.

Es ist nämlich nicht nöthig, damit an der Oberfläche des thierischen Elektromotors ein solcher Strom stattfinde, dass eine völlig unwirksame Schicht vorhanden sei. Es reicht dazu aus, dass sowohl am Längs- wie am Querschnitt die oberflächliche Schicht eine geringere elektromotorische Kraft besitze als das damit bekleidete Innere. Denkt man sich die Kraft der inneren Molekeln in zwei Theile zerlegt, deren einer gleich

---

1) Hr. Charles Morgan hat neuerdings auch an dem künstlichen Längsschnitt der Nerven die schwachen Ströme nachgewiesen. S. oben in diesem Bande des Archivs, S. 341.

ist der der äusseren Molekeln, so hat dieser Theil mit der Erzeugung der schwachen Ströme nichts zu schaffen. Der andere Theil, d. h. der Ueberschuss der Kraft der inneren über die der äusseren Molekeln, sendet durch die äussere schwächere Schicht einen Strom vom Längs- zum Querschnitt, gleich dem, der in einer völlig unwirksamen, ein wirksames Innere umhüllenden Schicht stattfindet. Man kann sich auch mit wesentlich gleichem Erfolge denken, dass die Kraft der Molekeln von der Oberfläche bis zu einer gewissen Tiefe stetig abnimmt. Dazu theilt man die Schicht, in der die Kraft mit der Tiefe wächst, in hinlänglich viele gleichsam concentrische Schalen, in denen die Kraft als beständig angesehen werden kann. Die n äussersten Schalen werden alsdann von Strömen durchflossen, welche von dem Kraftüberschuss der $(n+1)$sten Schale über die $n$te stammen. Aus der Deckung aller dieser Ströme entspringt ein Strömungsvorgang, der an der Oberfläche des Muskels sich nicht viel anders gestalten kann, als im ersten Falle.

Es ist nun zwar nicht anzunehmen, dass die oberflächlichen Theile der thierischen Gebilde schon im Leben mit geringerer Kraft wirken als die tieferen. Höchstens könnte man die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitt in diesem Sinne verwerthen. Allein schon Hr. Helmholtz hat gefragt, ob die oberflächlichen Theile, welche der Eintrocknung, der Berührung der Luft und fremdartiger Flüssigkeiten ausgesetzt sind, ihre elektromotorischen Kräfte wohl ungeschwächt erhalten. Was den künstlichen Querschnitt betrifft, so ist kein Zweifel, dass von ihm aus die Muskelbündel und Nervenröhren absterben. Auch der künstliche Längsschnitt stellt eine solche Verletzung des Muskels oder Nerven dar, dass eine verminderte Leistungsfähigkeit der zunächst daran grenzenden Theile wohl möglich ist. Hinsichtlich der natürlichen Begrenzungen der thierischen Gebilde wird man nicht gern an eine schädliche Einwirkung des Sauerstoffs der Luft glauben, da Muskeln in Wasserstoff und Stickstoff rascher als in Luft, in dieser rascher als in Sauerstoff sterben[1]). Dagegen

1) G. v. Liebig, in diesem Archiv, 1850, S. 393.

lässt sich behaupten, dass es keine Art giebt, die thierischen Gebilde auf ihre Ströme zu prüfen, wobei nicht ihre oberflächlichen Schichten einer Aenderung ihres Wassergehaltes ausgesetzt sind.

Auf alle Fälle fehlt es, wie man sieht, nicht an Gründen für das Zustandekommen des Stromes vom Längs- zum Querschnitt an der Oberfläche der thierischen Elektromotore, dessen man zur Erklärung der fraglichen Erscheinungen bedarf. Hierzu noch den anderen Umstand zu Hülfe zu rufen, durch den die Muskeln und Nerven von der Voraussetzung der gleichen und beständigen Kraft ihrer Molekeln abweichen, nämlich ihre seitdem von mir erkannte innere Polarisirbarkeit[2]), erscheint um so weniger geboten, als es keine Vermuthung darüber giebt, wie die schwachen Ströme durch die Polarisation entstehen könnten.

Man würde übrigens irren, wollte man, weil diese Ströme jetzt gleichsam auf ein Leichenphänomen zurückgeführt sind, denselben alle Bedeutung absprechen. Ein Punct fährt fort, ihnen ein hohes Interesse zu sichern. Das blosse Dasein der schwachen Ströme nämlich widerlegt, schlagender als jeder Versuch, den Verdacht, als entspringe der Strom vom Längs- zum Querschnitt der Berührung der Multiplicatorenden mit dem Muskel oder Nerven. Die Thatsache, dass diese Ströme an einem unverletzten Muskel, wie dem Gastroknemius, nachweisbar sind, dessen Bündel noch sämmtlich tagelang leistungsfähig bleiben und neutral reagiren, lässt keinen anderen Ursprung des Muskelstromes zu, als aus im Muskel vorherbestehenden elektromotorischen Unterschieden.

Bei dem Versuch, diese Einsichten auf die rhombisch zugeschnittenen Muskeln anzuwenden, bietet sich zunächst die Frage dar nach der Ursache der geringeren Negativität schräger Querschnitte. Diese geringere Negativität scheint von nichts herrühren zu können, als von einer Einmischung des

1) S. die Monatsberichte der Berliner Akademie, 1856, S. 457; — Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. A. a. O. S. 93 Anm. 1.

beziehungsweise positiven Längsschnittes in den Querschnitt, welche Einmischung auf doppelte Art möglich ist.

Entweder die Querschnitte der einzelnen Bündel, die Einzelquerschnitte, überragen einander stufenförmig. Alsdann brauchen die Einzelquerschnitte selber nicht positiver zu sein. So könnten z. B. unter dieser Annahme die Bündel negativen, am Umfang positiven Prismen gleichen, wobei die elektrische Beschaffenheit ihres Querschnittes unabhängig von dessen Neigung wäre, und die einzelnen Bündel deshalb auch nicht einmal schräg durchschnitten zu sein brauchten.

Oder die Einzelquerschnitte sind schräg, und liegen sämmtlich in Einer Flucht, der des Gesammtquerschnittes. Alsdann können die Bündel nicht mehr als negative Prismen mit positivem Umfang gedacht werden (vergl. oben S. 579), sondern man muss jetzt annehmen, dass in den schrägen Einzelquerschnitten die Längsreihen der elektromotorischen Molekeln einander überragen, und dass demgemäss die Einzelquerschnitte selber minder negativ sind.

Die uns beschäftigende Frage erhält so ein unerwartetes Gewicht, da sie in Betreff der im Muskelbündel stattfindenden Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile eine neue Entscheidung in Aussicht stellt. Leider findet sich dieser Weg bald versperrt.

Die mikroskopische Untersuchung der schrägen Querschnitte lehrt zwar, dass die einzelnen Bündel wirklich schräg durchschnitten sind. Allein erstens stirbt ein Stück des Bündels zunächst dem Querschnitt sogleich ab (vergl. oben S. 584), und man kann nur vermuthen, nicht beweisen, dass die Demarcationsfläche dem schrägen Querschnitt parallel läuft. Zweitens zeigt es sich, dass die schrägen Einzelquerschnitte einander vielfach stufenförmig überragen. Dies ist für sich genug, um die geringere Negativität des Gesammtquerschnittes zu erklären, und damit geht die Hoffnung verloren, auch auf diese Art die Unmöglichkeit darzuthun, dass das Bündel ein negatives Prisma mit positivem Umfang sei.

Andererseits ist nicht zu übersehen, dass die geringere Negativität des Gesammtquerschnittes einen doppelten Grund ha-

ben kann, d. h. dass neben dem stufenförmigen Ueberragen der Einzelquerschnitte über einander vielleicht auch noch die Einzelquerschnitte selber minder negativ sind; ja dies lässt sich sogar folgendermaassen wahrscheinlich machen.

Bekanntlich zeigen auch die schrägen natürlichen Querschnitte, wie der Achillesspiegel, im Vergleich zu senkrechten künstlichen Querschnitten eine sehr geringe Negativität. Hier liegen, wie ich zeigte, die schrägen Einzelquerschnitte in Einer Flucht[1]). Die Bündel sind durch die sehnige Ausbreitung schräg abgeschnitten, wie sie in den Seitenrumpfmuskeln der Fische durch die Lg. intermuscularia schräg durchschnitten sind. Gäbe es keine parelektronomische Schicht, so würde man ohne Weiteres schliessen dürfen, dass an den schrägen natürlichen Einzelquerschnitten Längsreihen von Molekeln einander überragen, von wo aus es nah läge, auch den schrägen künstlichen Einzelquerschnitten den gleichen Bau und dem entsprechend geringere Negativität zuzuschreiben.

Die parelektronomische Schicht indess verhindert diese Schlussfolge. Es giebt keinen Versuch, der unmittelbar bewiese, dass, abgesehen von jener Schicht, der schräge natürliche Querschnitt minder negativ ist als ein senkrechter künstlicher. Entfernt man die Schicht mechanisch, so hat man schrägen künstlichen Querschnitt mit einander stufenförmig überragenden Bündeln; zerstört man sie chemisch oder kaustisch, so führt man Bedingungen ein, welche jeden Vergleich ausschliessen.

Wohl aber giebt es einen Versuch, welcher mittelbar das leistet, dessen wir hier bedürfen. Leitet man den Strom des Gastroknemius in der oben S. 553 besprochenen Art von Haupt- und Achillessehne ab (9. in Fig. 2.), und betupft man den Achillesspiegel mit einer gut leitenden Flüssigkeit, so erhält man, ehe dieselbe entwickelnd wirkt und dadurch einen positiven Ausschlag erzeugt, einen negativen Ausschlag, der von nichts herrühren kann, als davon, dass die gut leitende Flüs-

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 58. 110. Taf. V. Fig. 144.

sigkeit eine schwächende Nebenschliessung bildet zwischen dem am schrägen natürlichen Querschnitt zu Tage tretenden positiven Element und dem negativen des Querschnittes selber[1]). Dieser Versuch gelingt auch am schrägen künstlichen Querschnitt, wenn von einem wie in Fig. 12. schräg durchschnittenen Muskel z. B. der obere Abschnitt einerseits mit der spitzen Rhombusecke l_2, andererseits mit einem Längsschnittspuncte oberhalb der stumpfen Rhombusecke l_1 aufliegt. Man erhält einen starken aufsteigenden Strom, von dem unten klar werden wird, dass er mit dem Strom zwischen Haupt- und Achillessehne gleichen Ursprunges ist. Beim Betupfen des Querschnittes mit Höllensteinlösung habe ich auch hier öfter einen negativen Ausschlag erfolgen sehen[2]), wodurch die Deutung des entsprechenden Ausschlages beim Betupfen des Achillesspiegels bestätigt wird. Ist nun bewiesen, dass an den schrägen natürlichen Einzelquerschnitten die Längsreihen der Molekeln einander überragen, und dass folglich diese Querschnitte an sich, und abgesehen von der parelektronomischen Schicht, minder negativ sind, so hat es gewiss nichts gegen sich, wenn wir diese Schlüsse auch auf die schrägen künstlichen Einzelquerschnitte übertragen; und wir werden im Folgenden von dieser Voraussetzung ausgehen.

Was die Neigungsströme betrifft, so gehören sie offenbar derselben Kategorie an, wie die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes, zwar nicht der Stärke nach, da sie gelegentlich den Strom vom Längs- zum Querschnitt überwiegen, aber insofern als sie in einem Bogen kreisen, dessen Enden beide den Längsschnitt, oder beide den Querschnitt berühren. Sie setzen demnach zu ihrem Entstehen im Bogen, gleich jenen Strömen, einen bereits durch die Masse des Muskels kreisenden Strom voraus, von dem sie abgeleitet werden. Dieser Strom wiederum, sollte man meinen, bedinge auch hier eine ganz oder beziehungsweise unwirksame Schicht, welche als ein zwei ungleichartigen Bezirken des Muskels angelegter Bogen

1) Untersuchungen u. s. w. a. a. O. S. 57.
2) Untersuchungen u. s. w. a. a. O. S. 78.

zu betrachten wäre. Bei näherer Ueberlegung ergiebt sich jedoch diesmal ein anderer Ausweg.

Zwischen dem durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskel und dem Muskelrhombus findet, in Bezug auf ihre Zusammensetzung aus elektromotorischen Molekeln, ein scheinbar geringfügiger, aber wichtiger Unterschied statt. Das senkrechte Muskelprisma kann man in Molekeln mit ihren Höfen zerlegen, welche mit Puncten gleicher Spannung aneinanderstossen, oder durch Strömungsflächen von einander getrennt sind, so dass darin, mögen sie getrennt oder verbunden sein, der Strömungsvorgang der nämliche, und auch im letzteren Falle auf die einzelnen Höfe beschränkt bleibt. Am Muskelrhombus würde dies auch gelten, wäre dessen Querschnitt treppenförmig, wie die Umrisse der Höfe in Fig. 18. es vorstellen, wo in gewohnter Art[1]) die hellen Pole positiv, die dunklen negativ sind, und der schraffirte Hintergrund den feuchten Leiter zu den metallisch gedachten Molekeln bedeutet. Eine solche Treppengestalt des Querschnittes ist jedoch undenkbar, weil eine Schicht daselbst sogleich abstirbt; während ein Abgeschrägtsein in der Art, wie die Figur es zeigt, genügt, um im Allgemeinen zu bewirken, dass der Strömungsvorgang jeder Molekel nicht mehr auf ihren Hof beschränkt bleibe, sondern in die Nachbarhöfe übergreife. Mittels der Betrachtung der Spannungen gelingt es nicht gut, den Vorgang weiter zu bestimmen; mittels des Grundsatzes der Deckung der Ströme[2]) dagegen scheint Folgendes einzuleuchten.

Verfolgt man in Fig. 18., den schrägen Querschnitten parallel, die mit 1, 2, . . . bezeichneten Reihen dipolarer Molekeln, so erkennt man, dass jede solche Reihe aufgefasst werden kann als begriffen in säulenartiger Anordnung, d. h. dass die mittlere absolute Spannung einer jeden Molekel der Reihe durch die vorige stets im gleichen Sinne verändert wird, mithin der Spannungsunterschied des positiven Pols der ersten und des

1) Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. Taf. VI. Fig. 72; — Bd. II. Abth. I. Taf. III. Fig. 107.

2) Helmholtz in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 212.

negativen der letzten Molekel um eine gewisse Grösse erhöht ist[1]). Allerdings machen die elektromotorischen Axen mit der Axe der Säule den spitzen Winkel des Rhombus. Dies verhindert aber nicht, dass die Reihe einen Strom durch sich selber sende in der Richtung, der die positiven Pole der Molekeln mehr zugekehrt sind, als der anderen, welchem Strom in der umgebenden leitenden Masse ein Strom im anderen Sinne entsprechen muss. Es ist dieselbe Bemerkung, wodurch ich (vermuthungsweise) den Stromzuwachs beim extrapolaren Elektrotonus erklärte[2]).

Während aber im elektrotonisirten Nerven alle Molekelreihen in gleich m Sinne polarisirt sind, haben wir es hier mit der Resultante aus den Wirkungen abwechselnd gerichteter Reihen zu thun. Denn die dem schrägen Querschnitt Q_t nächste Reihe 1. Fig. 18. sendet zwar ihren Strom durch sich selbst in der Richtung von der spitzen zur stumpfen Ecke, durch die umgebende Flüssigkeit und einen dem Querschnitt angelegten Bogen also umgekehrt, d. h. so, wie wir dessen zur Erklärung des Neigungsstromes bedürfen; und gleich dieser Reihe wirken

1) Vergl. Fick, die medicinische Physik. Braunschw. 1856. S. 400.

2) Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 325. 326. — Ich dachte mir, dass in den extrapolaren Strecken die dipolaren Molekeln die säulenartige Anordnung mitmachten, der die Molekeln in der intrapolaren Strecke nach der Grotthuss'schen Theorie unterlägen. Dadurch entstehe in den Molekelreihen selber ein Strom in der Richtung des erregenden Stromes, dem an der Oberfläche des Nerven ein Strom im anderen Sinne entspreche. Um aber zu erklären, dass diese Ströme mit wachsender Entfernung von den Elektroden abnehmen, fügte ich hinzu, dass die säulenartige Anordnung der Molekeln, je weiter von den Elektroden, um so unvollkommener werde, d. h. dass die in Bezug auf die Richtung des Stromes verkehrt liegenden dipolaren Molekeln, anstatt mit ihren elektromotorischen Axen einen Halbkreis zu beschreiben, nur eine mittlere Lage annehmen zwischen der, die ihnen vermöge der Richtkraft des Stromes, und der, die ihnen vermöge der unbekannten Kräfte im Nerven selber zukomme; und so leitete ich auch hier eine Abstufung der Spannungen an der Oberfläche von darunter gelegenen dipolaren Molekeln ab, deren positive Pole sich zwar im Allgemeinen den Puncten höherer Spannung zuwenden, deren Axen jedoch mehr oder minder von der Richtung abweichen, in der die Spannungen abgestuft sind.

die 3., 5., ..., kurz alle ungeraden Reihen. Die 2., 4., ..., kurz alle geraden Reihen wirken dagegen im anderen Sinne; und da wir natürlich auch hier daran festhalten, dass kein künstliches Trennungsmittel zwischen die dipolaren Molekeln einer peripolaren Gruppe dringt, so wird der Querschnitt $Q_{,,}$ durch eine gerade Molekelreihe gebildet, welche gleichfalls durch einen diesem Querschnitt angelegten Bogen einen Strom in der Richtung schickt, wie wir dessen zur Erklärung des Neigungsstromes bedürfen. Es fragt sich aber, was die Resultante aus den Wirkungen aller übrigen Molekelreihen sei.

Berücksichtigt man allein den Querschnitt, so genügt, um dies zu finden, eine Betrachtung, ähnlich der, durch welche man die Wirkung eines Magnetstabes herleitet, den man sich aus Theilchen bestehend denkt, in deren jedem die nördliche und südliche Flüssigkeit in gleichem Sinne nach der Axe des Stabes geschieden sind. Von dem Querschnitt $Q_{,}$ ausgehend, dem ein Bogen angelegt sein soll, fasst man die beiden ersten säulenartigen Reihen dipolarer Molekeln in's Auge, deren Molekeln zu je zweien immer eine peripolare Gruppe ausmachen. Die dem Querschnitt nähere Reihe liefert, wie schon bemerkt, einen Strom in der Richtung, wie wir seiner bedürfen. Die vom Querschnitt um eine sehr kleine Grösse entferntere Reihe liefert einen Strom im anderen Sinne, der den ersten bis auf eine sehr kleine Grösse aufhebt. Die ebenso übrigbleibende Wirkung der zweiten Doppelreihe fällt, wegen ihres grösseren Abstandes, noch kleiner aus, die der dritten abermals, u. s. f. bis zum Querschnitt $Q_{,,}$. Die Wirkung im Bogen setzt sich also zusammen aus einer abnehmenden Reihe sehr kleiner Glieder. Da aber die Zahl dieser Glieder sehr gross ist, so entsteht durch deren Summation zuletzt doch ein kräftiger Strom.

Die Neigungsströme am Querschnitt erklären sich so ohne Weiteres. Um auch die zwischen Längsschnittspuncten abzuleiten, bedarf es noch einiger Vorbereitungen. Zunächst vervollständigen wir die Construction der elektromotorischen Oberfläche des Muskelrhombus, d. h. wir vergegenwärtigen uns die Vertheilung der Spannungen an seiner Mantelfläche, welche den beobachteten Erfolg nach sich ziehen würde. Der Längsschnittsseite

entlang haben wir diese Vertheilung bereits oben S. 565 annähernd dahin bestimmt, dass daselbst, wie den grossen Axen der Querschnitte entlang, eine Abstufung der Spannungen von der stumpfen nach der spitzen Ecke stattfinde. Jetzt wickeln wir in Gedanken die krumme Mantelfläche von der einen zur anderen Längsschnittsseite ab, und tragen auf jeden Punct des so erhaltenen (geometrischen) Rhombus die zugehörigen Spannungen oberhalb als positive, unterhalb als negative Ordinaten auf. An den beiden stumpfen Ecken kommen die höchsten positiven, an den beiden spitzen die höchsten negativen Ordinaten zu stehen. Jeden dieser Eckgipfel umgiebt ein System elektrischer Niveaulinien, die sich von der einen der beiden die Ecke bildenden Rhombusseiten zur anderen erstrecken. An den Längsschnittsseiten gehen die Niveaulinien der beiden Hälften der Mantelfläche stetig in einander über; über den Querschnitt fort stehen sie in Verbindung durch dessen Niveaulinien. Die beiden von den positiven Eckgipfeln nach unten, und die beiden von den negativen Eckgipfeln nach oben sich abstufenden Systeme begegnen einander und verschmelzen in zwei Linien, die sich im Puncte μ (Fig. 11.) schneiden, und nicht sehr vom Aequator und der Linie $r\varrho$ abweichen werden. Die elektromotorische Fläche hat somit die den Physiologen von gewissen Gelenken her bekannte sattelförmige Doppelkrümmung[1]). Eine ähnliche Fläche erhielte man, wenn man den (geometrischen) Rhombus auf ein einschaliges Rotationshyperboloïd so projicirte, dass die längere Diagonale der Rotationsaxe parallel wäre, und die Normale auf μ den Mittelpunct der Hyperbel träfe.

Dass eine so beschaffene elektromotorische Fläche die Neigungsströme liefern würde, wie wir sie beobachtet haben, ist klar. In jeder Lage des Bogens, in der ein Neigungsstrom erfolgte, ist der Fuss, zu dem er eintrat, der höhere, und im Allgemeinen entspricht der Niveauunterschied der jedesmaligen Stromspannung. Nur eine Abweichung findet statt. Gemäss der beschriebenen Vertheilung müsste sich der Punct μ gegen die stumpfen Ecken so negativ verhalten, wie positiv gegen die

1) Ad. Fick, die medicinische Physik u. s. w. S. 55.

spitzen. Wir fanden aber, dass er sich auch gegen die stumpfen Ecken, obwohl viel schwächer, positiv verhielt. Unstreitig, weil die gewöhnliche Muskelstrom-Spannung wegen der verschiedenen Entfernung vom Querschnitt die Neigungsstrom-Spannung überwiegt. Damit stimmt, dass auch öfter die eine stumpfe Ecke sich gegen μ viel schwächer negativ als die andere, oder gar positiv verhält.

Indem wir senkrecht auf die Niveaulinien die Strömungscurven ziehen, erfahren wir das Gesetz der Ströme, welche an der Mantelfläche des Rhombus der beschriebenen Vertheilung entsprechen. Im Allgemeinen ist diese so, als wären die stumpfen Ecken positive, die spitzen negative Einströmungsstellen. Demgemäss theilt sich die aus den stumpfen Ecken über jede Hälfte der Mantelfläche sich ergiessende Elektricität in zwei Ströme, deren einer dem Rande des Querschnittes entlang zur einen, der andere der Längsschnittsseite entlang zur anderen spitzen Ecke einkehrt.

Es handelt sich jetzt darum, zu zeigen, dass eine solche Vertheilung der Spannungen, oder ein solcher Stromverlauf, aus der Anordnung elektromotorischer Bestandtheile fliesst, die wir im Muskel annehmen. Wie wir unstreitig dürfen, sobald wir nur die Neigungsströme im Auge haben, denken wir uns der Einfachheit halber die dipolaren Molekeln so gedreht, dass ihre elektromotorischen Axen der grossen Axe der Querschnitte parallel sind. In der an den Querschnitt grenzenden Schicht kehren die Molekeln ihre positiven Pole der stumpfen Ecke zu, in der zweiten liegen sie umgekehrt, in der dritten wieder wie in der ersten, u. s. f. bis zum anderen Querschnitt, wo die Molekeln der Grenzschicht also wieder ihre positiven Pole der stumpfen Ecke zukehren.

Eine der geschilderten ähnliche Vertheilung der Spannungen erhielte man, wenn nur die beiden Grenzschichten in Betracht kämen. Jeder Punct der an die stumpfe Ecke stossenden Hälfte des Umfanges des Querschnittes wäre dann gleichsam eine positive Elektricitätsquelle, die je näher der Ecke je reichlicher flösse. Umgekehrt verhielte sich die an die spitze Ecke stossende Hälfte. Das Ergebniss wiche also im Allgemei-

nen nicht sehr ab von dem, welches die Folge davon wäre, dass allein die stumpfen und spitzen Ecken sich beziehlich als positive und negative Einströmungsstellen verhielten.

Die Wirkung des Muskelrhombus würde auf die der beiden Grenzschichten zurückgeführt sein, wenn die Wirkungen aller übrigen Schichten einander aufhöben. Dies ist, wie in Coulomb's Theorie der Magnete[1]), so denkbar, dass der Abstand zweier dipolaren Molekeln, die zwei in einer Längsreihe benachbarten peripolaren Gruppen angehören, zurücktritt gegen den Abstand zweier eine Gruppe bildenden Molekeln. Da die Neigungsströme am Querschnitt, sowie die gewöhnlichen Muskelströme, dadurch gleichfalls erklärt sind, so giebt diese Annahme auf das Einfachste Rechenschaft von allen bisher betrachteten Thatsachen; ja die schwachen Ströme des Längsschnittes werden dabei allenfalls auch ohne unwirksame Schicht verständlich, welche aber wegen der schwachen Ströme des Querschnittes nicht zu entbehren ist.

Allerdings würden wir so zu einer etwas anderen Auffassung der peripolaren Gruppen genöthigt. Um deren Untrennbarkeit durch künstliche Mittel zu erklären, nahmen wir an, die Abstände der Molekeln einer Gruppe seien kleine Grössen höherer Ordnung als die der zu zwei benachbarten Gruppen gehörigen[2]). Fortan würden die peripolaren Gruppen als gestreckte Atomcomplexe zu denken sein, an deren einander eng benachbarten, aber künstlich trennbaren Enden elektromotorische Kräfte ihren Sitz haben, welche die positive Elektricität der Axe der Gruppe parallel ihrer Mitte zu treiben.

Alles was wir über die von mir sogenannten elektromotorischen Molekeln muthmassen können, ist, dass sie auf bestimmte Weise orientirte Heerde einer lebhaften chemischen Thätigkeit

1) Histoire de l'Académie des Sciences. Année 1789. Avec les Mémoires de Mathématique et de Physique pour la même Année etc. Paris 1793. 4. p. 48; — Gren's Neues Journal der Physik 1795. Bd. II. S. 333.

2) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 324; — Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1851. S. 393; — Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1857. Bd. II. S. 152.

sind, derselben unstreitig, welche die Athmung der Muskeln ausmacht. Dies ist so wenig, dass man nicht sagen kann, unsere Vorstellung von den Molekeln werde sonderlich dadurch verdunkelt, dass uns jener einfache Weg verloren gehe, die Untrennbarkeit der peripolaren Gruppen zu erklären. Vielmehr könnte man in der neuen, uns durch die Neigungsströme aufgedrungenen Bestimmung über die Lage der elektromotorischen Flächen in den peripolaren Gruppen gerade umgekehrt einen Fortschritt unserer Kenntniss erblicken.

Inzwischen steht es noch nicht ganz fest, dass nur unter der besprochenen Voraussetzung die Neigungsströme der Mantelfläche ableitbar seien. Es giebt eine Betrachtung, durch welche man scheinbar auch bei der entgegengesetzten Annahme zum nämlichen Ergebniss gelangt. Sie ist aber nicht überall gleich streng, und da sie ziemlich weitläufig ausfällt, so ziehe ich es vor, sie zu übergehen, und es bei der aufgestellten Theorie bewenden zu lassen, welche keinem physikalischen Bedenken unterliegt, und an Einfachheit unübertrefflich ist.

Der Bogen ist, wie man jetzt sieht, für die Neigungsströme ebenso überflüssig, wie für die gewöhnlichen Ströme am Längs- und Querschnitt. Zwischen diesen und den Neigungsströmen findet aber der Unterschied statt, dass letztere, um zu kreisen, keiner unwirksamen oder geschwächten Schicht bedürfen. Diese kommt hier nur insofern in Betracht, als die darin vom Längsschnitt zum schrägen Querschnitt fliessenden Ströme sich algebraisch summiren mit den Neigungsströmen, die uns ja zuerst als eine Störung jener Ströme entgegentraten, da sie jetzt vielmehr als das bedeutendere Phänomen erscheinen, weil sie nicht wie jene des Absterbens einer oberflächlichen Schicht zu ihrem Entstehen bedürfen.

In Fig. 18. ist eine solche Neigung des Querschnittes gegen die Faserrichtung angenommen, dass eine jede Längsreihe von Molekeln die vorige um eine peripolare Gruppe überragt. Der schräge Querschnitt zeigt, was die elektromotorischen Molekeln betrifft, Stufen, deren jede, nach Breite wie nach Höhe, aus einer einzigen peripolaren Gruppe besteht. Wählt man die Neigung kleiner, so werden die Stufen breiter, indem

deren jede mehrere peripolare Gruppen umfasst, die der nämlichen Querschicht von Molekeln angehören; um so mehr, je mehr sich der Querschnitt einem senkrechten nähert (Fig. 19. A.). Wählt man umgekehrt die Neigung grösser, so werden die Stufen höher, indem deren jede mehrere peripolare Gruppen umfasst, die der nämlichen Längsreihe von Molekeln angehören; um so mehr, je mehr sich der Querschnitt einem Längsschnitt nähert (Fig. 19. B.). Da der Winkel zwischen dem Querschnitt und den elektromotorischen Axen der Molekeln den zwischen dem schrägen und dem senkrechten Querschnitt zu einem Rechten ergänzt, so wird die säulenartige Anordnung der die Grenzschicht bildenden Molekeln um so vollkommener, je schräger der Querschnitt. Um so weiter auseinander aber liegen auch diese Molekeln, und daher, unter gewissen Voraussetzungen, das Maximum des Neigungsstromes in Bezug auf den Winkel zwischen schrägem und senkrechtem Querschnitt. Zwischen dem Winkel, der das Maximum herbeiführt, und den relativen Dimensionen des Hofes einer peripolaren Gruppe, findet eine verwickelte Beziehung statt, und es ist ein Zustand der Theorie denkbar, der aus der Beobachtung jenes Winkels einen Schluss auf diese Dimensionen ermöglichte.

Man entsinnt sich, dass wir den dem Neigungsstrom zu Grunde liegenden Spannungsunterschied sehr regelmässig grösser fanden, als den zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt, häufig sogar grösser, als den zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt; und stets grösser als letzteren, wenn wir den Unterschied zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt zu Hülfe nahmen (s. oben S. 568). Auch dieser Umstand ergiebt sich ohne Schwierigkeit aus unserer Theorie. Denn der ungeschwächte Spannungsunterschied der beiden Enden einer säulenartig angeordneten Reihe aus n dipolaren Molekeln ist $2n$mal grösser als der zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt einer peripolar angeordneten Reihe. In Wirklichkeit wird er hier nun freilich nicht entfernt so gross ausfallen. Da aber n eine sehr grosse Zahl ist, so wird er sehr viel kleiner sein können, als jene Grenze, und doch noch immer gross genug, um die gewöhnliche Muskelstrom-Spannung zu überwiegen. Die auffallende Thatsache,

dass das Schrägdurchschneiden des Muskels uns ein Mittel ward, ihm stärkere elektromotorische Wirkungen zu entlocken als je bisher, ist so auf denselben Grund zurückgeführt, den ich in der Theorie des Elektrotonus dafür angebe, dass der Stromzuwachs den ursprünglichen Nervenstrom überwiegt, sogar ohne dass dieser eine bemerkbare Abnahme verräth, obschon beide von denselben Molekeln ausgehen [1]).

Dass im Conflict der Neigungsströme mit den gewöhnlichen Muskelströmen am Längs- und Querschnitt bald diese bald jene obsiegen, erklärt sich theils aus der verschiedenen Neigung der schrägen Querschnitte, wodurch die Stärke der Neigungsströme verändert wird, theils aus dem verschiedenen Zustande der unwirksamen oder geschwächten Schicht, die wir am Muskel annehmen, und von deren Mächtigkeit und Leitungsgüte, wie wir oben S. 584 sahen, die gewöhnlichen Muskelströme abhängen. Wenn aber am unvollständigen Muskelrhombus der schwache Strom am Längsschnitt so leicht den Neigungsstrom überwiegt (s. oben S. 569), so rührt dies wohl daher, dass letzterer hier nur von Einer Grenzschicht ausgeht; und wenn dasselbe am vollständigen Rhombus zwischen μ und den stumpfen Ecken geschieht, so ist dies vielleicht darauf zu deuten, dass die Spannung in μ nicht die Mitte hält zwischen der der spitzen und der der stumpfen Ecken, sondern letzterer näher steht. Dies scheint sogar nothwendig, wenn man sich den Rhombus so gestreckt denkt, dass μ fast mit den beiden stumpfen Ecken zusammenfällt.

Die Erscheinungen an dem Muskelrhombus zweiter Art sind nach dem Vorigen so leicht abzuleiten, dass ich nicht dabei verweile.

Es bleibt übrig, die Neigungsströme an den rhombischen Modellen zu betrachten. Auch hier müssen wir zuerst auf die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes zurückgehen. Die Art, wie die Entstehung dieser Ströme an den thierischen Elektromotoren erklärt wurde, findet selbstverständlich keine Anwendung auf die Modelle, sondern die einzige Aus-

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 327.

sicht, meine früheren Angaben über das Verhalten der Modelle mit der Theorie zu vereinbaren, knüpft sich, wie Hr. Helmholtz bemerkt hat, an die daran stattfindende Polarisation, von der jedoch nicht abzusehen ist, wie sie die ihr zugedachte Rolle erfülle. Inzwischen verhält sich die Sache auch vielleicht ganz anders, und viel einfacher. Zu den beiden Fehlern, deren ich mich oben S. 581 bereits anklagen musste, kommt vielleicht, und zwar als πρῶτον ψεῦδος, noch der, dass ich mich in dem Vorhandensein der schwachen Ströme an den Modellen geirrt habe.

Um diese Möglichkeit, die sich natürlich hier zuletzt gleichfalls darbot, zu prüfen, verfertigte ich ein neues Modell des Muskels nach Art des in meinem Werke Bd. I. S. 672 beschriebenen, Taf. VI. Fig. 74. daselbst abgebildeten, nur statt aus 72, aus 96 peripolaren Molekeln bestehend, die in sechs Reihen, zu sechszehn Molekeln jede, aufgekittet waren. Als ich dies Modell mit den oben S. 574. 575 beschriebenen unpolarisirbaren Ableitungsplatten untersuchte, gelang es mir nicht, daran die schwachen Ströme mit überzeugender Sicherheit zu beobachten. Ebenso unbefriedigend war, wie man sich erinnert (s. oben S. 577. 578), ihre Erscheinung an den rhombischen Muskelmodellen, da sie sich zwar an zwei Seiten im richtigen, an den beiden anderen aber im falschen Sinne zum Neigungsstrome hinzufügten.

Zwischen den jetzt und den früher von mir angewendeten Modellen bestand ein Unterschied, der vielleicht nicht ohne Einfluss auf den Erfolg an beiden blieb. An den ersteren war das die Molekeln tragende Brett zwischen denselben vielfach durchbohrt, damit rasch die Luft entweiche, und das Wasser zwischen den Molekeln aufsteige. Beim Eintauchen der alten Modelle, wo dies unterblieben war, wurden die Molekeln sichtlich, je weiter nach innen, im Allgemeinen um so später benetzt. Die Folgen einer solchen ungleichzeitigen Benetzung können, namentlich unter Mitwirkung der Polarisation, sehr mannigfaltige sein, und vielleicht war dies die Ursache, wodurch mir an den alten Modellen die schwachen Ströme vorgespiegelt wurden.

Ich will auf die Erörterung, durch welche Umstände ich möglicherweise sonst noch bei meinen früheren Versuchen getäuscht ward, nicht eingehen. Sie würde höchstens dazu dienen, meine Eigenliebe zu retten. Um hier zur Gewissheit zu gelangen, besonders darüber, welchen Einfluss bei diesen Versuchen die Polarisation übt, ist ein ganz anderer Weg einzuschlagen, den zu betreten ich noch nicht Zeit fand. Ich meine den schon mehrfach angedeuteten, die Modelle aus Kupfer und Zink zu ersetzen durch Elektroden beständiger Säulen, welche Elektroden je nach dem Elektrolyten, mit dem man sie umgäbe, polarisirt würden oder nicht.

Früher oder später wird so der Versuch der Theorie des Muskel- und Nervenstromes und des Schlages der elektromotorischen Fische auf halbem Wege entgegenkommen müssen. Was die Neigungsströme betrifft, so ist deren Vorhandensein an den äusseren Begrenzungen der aus Molekeln bestehenden rhombischen Muskelmodelle ausser Frage, und an dem Modell aus dipolaren Molekeln auch nach unserer Theorie ganz in der Ordnung. An den Modellen aus peripolaren Molekeln tritt dagegen eine Schwierigkeit ein. Fasst man in Fig. 18. eine dem Querschnitt parallele Reihe peripolarer Gruppen in's Auge, so verlangt die Theorie, dass in der Mitte der Reihe die mittleren Spannungen der beiden eine Gruppe bildenden dipolaren Molekeln einander gleich seien, nach den beiden Enden der Reihe hin aber von einander in verschiedenem Sinne um eine wachsende, wenn auch stets nur kleine Grösse abweichen. Eine entsprechende Vertheilung der Spannungen an den peripolaren Molekelmodellen scheint unvereinbar mit dem Ohm'schen Satze[1]), der in Hrn. Kirchhoff's Brechungsgesetz für elektrische Ströme[2]) seine Begründung gefunden hat, dass im stationären Zustande die Grenze von Metall und feuchtem Leiter als isoëlektrische Fläche betrachtet werden kann. Andererseits ist nicht einzusehen, weshalb, wenn die zum Rhombus geord-

---

1) Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet u. s. w. Berlin, 1827. S. 128.

2) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 500. Anm. 2. — Vergl. G. Quinke, ebendas. 1856. Bd. XCVII. S. 388.

neten peripolaren Molekelmodelle die Neigungsströme liefern, das Modell aus Rechtecken sie versage.

Unsere Aufgabe ist indess die Erklärung der Erscheinungen an den Muskeln, nicht an den Modellen, und die Bedenken, auf die wir an den Modellen stossen, beweisen nichts gegen die Zulässigkeit unserer Betrachtungen an den Muskeln. Diese Bedenken zeigen vielmehr nur von Neuem, dass der Versuch, die elektromotorischen Leistungen der Muskeln durch metallische Modelle zu erläutern, in seiner bisherigen Gestalt ein verfehlter ist, da durch die an den Modellen eintretenden, dem Muskel fremden Verwickelungen mehr künstliches Dunkel geschaffen, als Licht auf die natürlichen Verhältnisse geworfen wird.

§. IX.

Die besonderen elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Gastroknemius vom Frosch werden mit Hülfe der Neigungsströme erklärt, und die Richtigkeit dieser Erklärung wird durch verschiedene Versuche bewiesen.

Wie die Sachen stehen, ist die Molecularhypothese über den Ursprung der thierisch-elektrischen Ströme, die schon so manches Räthsel befriedigend gelöst hat, auch der Neigungsströme Herr geworden. Mit solcher Strenge hat sie dieselben abgeleitet, dass bei gehörig gerichteter Aufmerksamkeit deren Dasein, wenigstens am Querschnitt, aus der Theorie vorhergesagt werden konnte. Aber selbst wenn die Theorie die Neigungsströme nicht zu erklären vermöchte, oder wenn man aus irgend welchen Gründen die gegebene Erklärung nicht gelten liesse, würde dies, wie ich schon oben S. 558. 559 andeutete, nicht verhindern, dass durch die thatsächliche Kenntniss der Neigungsströme Licht verbreitet werde über die sich scheinbar dem Gesetze des Muskelstromes entziehenden elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Gastroknemius vom Frosch.

Da wir den Muskelrhombus der Urgestalt des Gastroknemius in Fig. 5. nachgebildet haben (s. oben S. 559), so bedarf es nicht des Beweises, dass dieser Muskel aufzufassen ist als

ein natürlicher Muskelrhombus, d. h. als ein solcher, an dem die schrägen Querschnitte natürliche, mit Sehnenspiegeln, auch mit einer parelektronomischen Schicht überzogene sind. Der Achillesspiegel ist der untere schräge Querschnitt, dessen stumpfe positive Ecke am oberen Rande des Spiegels, in unseren Figuren bei G', seine spitze negative Ecke an der Achillessehne, bei $G_{,}$, zu suchen ist. Der obere schräge Querschnitt, der seine stumpfe positive Ecke am unteren Ende des sehnigen Streifens an der Tibialfläche bei $\Gamma_{,}$, seine spitze negative Ecke an der Hauptsehne bei Γ' hat, ist, wie früher beschrieben (s. oben S. 530), zusammengeklappt, und seine beiden Hälften sind mit einander verwachsen. Um die Folge dieser verwickelten Anordnung zu beurtheilen, betrachten wir zuerst einen einfacheren Fall.

Stellt man aus den beiden grossen Adductoren oder Semimembranosi desselben Frosches durch symmetrische Schnitte zwei möglichst gleiche Rhomben A und B her, und schiebt man wie in Fig. 20. den Querschnitt von A gegen den von B, während B die Enden des Bogens in l, und entweder in l_1 oder in l_2 angelegt sind: so wächst jedesmal der Neigungsstrom, und sinkt wiederum, wenn A von B entfernt wird. Selbst wenn A merklich schwächer ist als B, z. B. wenn A durch warmes Wasser seiner Kraft beraubt oder einem absterbenden Muskel eines anderen Frosches entlehnt wurde, findet die Verstärkung des Neigungsstromes durch das Aneinanderschieben der Querschnitte statt. Eine Schwächung tritt dagegen ein, wenn A völlig abgestorben ist, oder durch einen aus Thon geformten Rhombus ersetzt wird. Noch weiter endlich geht die Schwächung, ja es erfolgt manchmal Umkehr des Stromes, wenn man A, statt in der bisher betrachteten Stellung, in der in der Figur nur punctirten A, gegen B schiebt.

Diese Ergebnisse erklären sich folgendermaassen. Denkt man sich den Bogen entfernt, und die beiden Rhomben in aller Strenge einander gleich, so bleibt beim Aneinanderschieben von A und B in der ersten Stellung das dynamische Gleichgewicht der Elektricität in beiden Rhomben ungestört, weil in beiden Querschnitten die gleiche Vertheilung der Spannungen

herrscht (vergl. oben S. 590). Die Puncte l, l_1, l_2 behaupten also nach dem Aneinanderschieben der beiden Querschnitte denselben Spannungsunterschied wie vorher. Aber der durch diesen Unterschied in einem diesen Puncten angelegten Bogen erregte Strom findet im ersteren Falle eine bessere Leitung durch die Muskeln, als im letzteren. Ist *A* schwächer als *B*, ganz unwirksam, oder umgekehrt wirksam, so nimmt der Spannungsunterschied des Bogens ab, im letzten Falle kann er sich umkehren. Bis zu einem gewissen Punct kann die Abnahme des Widerstandes die der elektromotorischen Kraft überwiegen, da man denn in Fällen, wo die Stromstärke durch das Aneinanderschieben der Querschnitte wächst, das Sinken der Kraft am Compensator bemerkt.

Ein ähnliches Verhalten giebt sich kund, wenn man ebenso mit zwei durch senkrechte Querschnitte begrenzten Muskeln *A* und *B* verfährt. Der Bogen ist *B* am Aequator und an einem dem Querschnitt nahen Puncte des Längsschnittes angelegt; gegen diesen Querschnitt wird der eine Querschnitt von *A* geschoben. Die Verstärkung, welche erfolgt, so lange *A* nicht über ein gewisses Maass geschwächt ist, (eine Umkehr kommt hier unter den gewöhnlichen Umständen nicht vor), kann für einen neuen Beweis der Richtigkeit der oben auf die Helmholtz'schen Bemerkungen gegründeten Theorie der schwachen Längsschnittsströme gelten. Denn stiessen in den beiden aneinandergeschobenen Querschnitten die Höfe der peripolaren Gruppen zusammen, wie in einem idealen Querschnitt des Muskelbündels, und wären dabei, wie ich es mir früher dachte, die Längsschnittsströme möglich, so müsste statt der Verstärkung vielmehr Umkehr des Stromes erfolgen.

Bei unserem früheren Versuch, die elektromotorische Wirkung des Gastroknemius aus seinem Bau vorherzusagen, nahmen wir an, die Scheidewand sei zu vernachlässigen, und die Vertheilung der Spannungen die nämliche, wie in dem in Fig. 9. vorgestellten Falle des zusammengebogenen Muskels (s. oben S. 536 ff.). Diese Vorstellung ist jetzt, wo wir die Neigungsströme kennen gelernt haben, nicht mehr zulässig. Zwar nicht in dem Sinne, als verdiene die Scheidewand jetzt eine Berück-

sichtigung, die wir ihr früher mit Recht absprachen. Sondern da die Neigungsströme auch kreisen, ohne dass ihnen in einer unwirksamen oder geschwächten Schicht eine Bahn geöffnet wird (s. oben S. 596), vielmehr insofern, als auch ohne Scheidewand, bei völliger Verschmelzung der daran stossenden schrägen Einzelquerschnitte, der Neigungsstrom des oberen Querschnittes durch das Zusammenklappen nicht verschwindet, wie der gewöhnliche Muskelstrom. Es hat sich, ganz abgesehen von der Verletzung, als nicht gleichgültig für die elektromotorische Wirkung herausgestellt, ob ein Muskel halbkreisförmig gebogen, oder ob er in der Mitte schräg durchschnitten, und mit seinen beiden Hälften nach Art der Sparren eines Daches oder der Schenkel eines Spitzbogens wieder zusammengefügt wird. Die beiden Hälften des zusammengeklappten oberen Querschnittes unseres natürlichen Muskelrhombus sind somit nicht den beiden idealen Querschnitten zu vergleichen, womit in Fig. 9. die beiden Hälften des zusammengebogenen Muskels aneinanderstossen, sondern den beiden aneinandergeschobenen wirklichen Querschnitten in Fig. 20.

Es folgt hieraus, dass auch mit Berücksichtigung der Neigungsströme die Vertheilung der Spannungen am Gastroknemius noch nicht ohne Weiteres der Theorie entspricht.

Am Achillesspiegel zwar lässt die jetzt erlangte Uebereinstimmung nichts zu wünschen übrig. Als schrägem natürlichen Querschnitt kommt demselben ein Neigungsstrom zu, der im Bogen vom oberen Rande des Spiegels als stumpfer, zur Achillessehne als spitzer Ecke eines Muskelrhombus, also aufsteigend im Muskel fliesst. Dies ist die einfache Erklärung des von uns längs dem Achillesspiegel entdeckten aufsteigenden Stromes, der sich algebraisch summirt zu den schwachen Strömen des Querschnittes. Auch die Ströme zwischen den seitlichen Rändern des Achillesspiegels und dessen Längsmittellinie, die wir einfach als solche schwache Ströme auffassten, sind vielleicht zum Theil Neigungsströme, da die Bündel an den seitlichen Rändern des Achillesspiegels nicht blos der Länge, sondern, wie es scheint, auch der Quere nach schräg abgeschnitten sind.

Die Theorie verlangt ferner am Längsschnitt der Tibialfläche zwischen $\Gamma_{\prime}$ als stumpfer und $G_{\prime}$ als spitzer Rhombusecke, wie auch längs den seitlichen Rändern des Achillesspiegels, einen im Muskel aufsteigenden Strom, und die Beobachtung weist ihn nach. Sodann sollte am Längsschnitt der Rükkenfläche zwischen G' als stumpfer und Γ' als spitzer Rhombusecke der Strom im Muskel absteigen, und sichtlich war dies der absteigende Strom, dem wir hier öfter begegneten (s. oben S. 557. 558). Was aber nicht mit der Theorie stimmt, ist, dass dieser Strom so schwach, und so selten im Stande ist, den schwachen Strom zu überwiegen, der hier im Bogen von den vom Querschnitt entfernteren zu den ihm näheren Puncten fliesst. In der That sollte die Hauptsehne, als spitze Rhombusecke, so stark negativ sein wie die Achillessehne. Der starke aufsteigende Strom zwischen Haupt- und Achillessehne erscheint daher nach wie vor räthselhaft. Endlich am Längsschnitt der Tibialfläche sollte zwischen den seitlich den Achillesspiegel begrenzenden Streifen, worin der Strom richtig aufsteigt, beiderseits von der sehnigen Scheidewand ein Streifen liegen, worin der Strom abstiege. Wir wissen bereits, dass es keinen solchen Streifen giebt.

Um diese Abweichungen zu rechtfertigen, müssen neue Umstände zu Hülfe genommen werden. Zunächst ist zu bemerken, dass am Muskelkopfe die vorausgesetzten Bedingungen nicht ganz erfüllt sind. Wie man in Fig. 4. und 6. sieht, stossen hier die Bündel mehr senkrecht an die Scheidewand, so dass von ihnen kein merklicher Neigungsstrom ausgehen kann. Da dies aber um so weniger der Fall ist, je tiefer man an der Scheidewand hinabsteigt, so lässt sich daraus wohl eine geringere Negativität des Muskelkopfes ableiten, aber weder mit Wahrscheinlichkeit eine solche relative Positivität desselben, wie man sie in vielen Fällen antrifft, noch die Abwesenheit jedes absteigenden Stromes längs der Scheidewand. Es bleibt hier vielmehr nichts übrig, als die Annahme, dass die an die Scheidewand stossenden Enden der Bündel stets mit einer parelektronomischen Schicht bekleidet seien, welche den Neigungsstrom zum grössten Theil aufhebe.

Denkt man sich am schrägen natürlichen Querschnitt eine gewisse Anzahl der die Grenzschicht bildenden dipolaren Molekeln um 180° gedreht, so wird dies den Neigungsstrom ebenso beeinträchtigen, wie den gewöhnlichen Muskelstrom. Erstreckt sich die Lageänderung auf die Hälfte der Molekeln, so werden beide Ströme verschwinden; geht sie weiter, so wird der Längsschnitt gegen den Querschnitt, die stumpfe Rhombusecke gegen die spitze negativ. Hat man einen Rhombus mit einem künstlichen und einem natürlichen Querschnitt, so wird das Letztere schon, je näher einander die beiden Querschnitte, um so früher, eintreten, auch ohne dass die Grenzschicht selber einen verkehrten Neigungsstrom erzeugt, weil der Neigungsstrom vom künstlichen Querschnitt aus sich dem natürlichen entlang geltend macht. Jeder Angriff des natürlichen Querschnittes, der die oberflächlichen Schichten ausser Spiel bringt, reicht aber hin, den ordnungsmässigen Neigungstrom hervorzurufen.

Nehmen wir an beiden Flächen der Scheidewand eine solche Parelektronomie an, dass kein merklicher Neigungsstrom übrig bleibt, so ist Alles klar. Der Erfolg wird dadurch derselbe, als wäre keine Scheidewand da, und als lehnten die Bündel der beiden Hälften nicht gegen einander gleich Sparren oder Spitzbogenschenkeln, sondern verschmölzen stetig zu Rundbögen. Der Gastroknemius wird so auf das Schema eines unvollständigen Muskelrhombus zurückgeführt, nach Art des oberen Abschnittes eines schräg durchschnittenen Adductor magnus, wie ihn Fig. 12. zeigt, wenn man sich denselben stark parelektronomisch denkt.

Am Längsschnitt der Tibialfläche verlangt die Theorie jetzt nur den dort wirklich vorhandenen aufsteigenden Strom, herrührend von der Grenzschicht am Achillesspiegel. Am Längsschnitt der Rückenfläche wird der Neigungsstrom von der stumpfen Rhombusecke bei *G'* aus gewöhnlich durch den

---

1) Statt „grösserer oder kleinerer Ausbildung der parelektronomischen Schicht“ sage ich fortan „grössere oder kleinere Parelektronomie“.

Strom nach dem Querschnitt hin überwogen, wie wir dies auch am unvollständigen Rhombus beobachtet haben (s. oben S. 569. 598). Gelegentlich jedoch, bei geringerer Parelektronomie der Scheidewand, verstärkt ihn der Strom zur spitzen Rhombusecke, als welche die Hauptsehne, trotz dem mehr senkrechten Ansatz der oberen Muskelbündel, doch immer zu betrachten ist, und dann ist er der Sieger. Sonst verhält sich der Längsschnitt des Muskelkopfes, abgesehen von den kleinen natürlichen Querschnitten unter Haupt- und Nebensehne, schwach positiv gegen den schrägen natürlichen Querschnitt des Achillesspiegels. Zu diesem Strome tritt aber noch der Neigungsstrom des Achillesspiegels, um so stärker, je tiefer der Ableitungspunct am Spiegel gewählt ist, am stärksten, wenn dieser Punct die Achillessehne selbst ist.

Daher also jener starke aufsteigende Strom zwischen der Haupt- und Achillessehne, der mir lange ein um so peinigenderes Räthsel blieb, eine je wichtigere Rolle ich ihm in meinen Versuchen einräumen musste (s. oben S. 553). Dieser Strom — im Grunde der älteste bekannte Muskelstrom, da er es war, der Galvani's Zuckung ohne Metalle hervorrief, — ist nichts als ein Neigungsstrom vom neutralen Längsschnitt zur negativen spitzen Ecke des unvollkommenen natürlichen Muskelrhombus, den der Gastroknemius, vermöge der Parelektronomie der Scheidewand, vorstellt. Mit einem Neigungsstrom ist somit auch die Lehre von der parelektronomischen Schicht ausgearbeitet worden, und man hat bereits gesehen, dass mit einer leichten Abänderung, die durch die neue Auffassung der peripolaren Gruppen geboten wird, diese Lehre sich völlig mit der Theorie der Neigungsströme verträgt. Dass jener Strom nicht verschwindet, wenn man den oberen Ableitungspunct nach G' verlegt, ist jetzt sogar leichter verständlich, als der Strom zwischen Haupt- und Achillessehne selber. Denn ohne die Parelektronomie der Scheidewand würde dieser letztere Strom verschwinden, jener fortbestehen.

Es ist übrigens leicht, diese Ströme an regelmässigen Muskeln nachzuahmen, wie ich dies, ohne den Sinn der Anordnung

zu verstehen, schon in meinem Werke angegeben habe[1]). Dazu ist nur nöthig, einen solchen Muskel schräg zu durchschneiden, wie in Fig. 12., und dessen oberen Abschnitt, in dem wir bereits das Analogon des Gastroknemius erkannt haben, einerseits mit dem Punct l_2, andererseits mit einem beliebigen Puncte des Längsschnittes oberhalb der stumpfen Ecke, oder, wenn der Muskel hinreichend parelektronomisch ist, mit dem oberen sehnigen Ende O selber aufzulegen. Man erhält einen starken aufsteigenden Strom, der mit dem zwischen Haupt- und Achillessehne einerlei Ursprung hat. Man kann sich auch, wodurch die Aehnlichkeit mit dem Gastroknemius erhöht wird, der in Fig. 9. abgebildeten Anordnung bedienen. Sie liefert zwischen $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}$ oder auch G', und $G_{,}$, einen kräftigen Strom im Bogen nach dem letzteren Punct, oder nach der spitzen Rhombusecke hin, also, da diese das untere Ende des Gastroknemius vorstellt, entsprechend einem im Gastroknemius aufsteigenden Strom. Die Einerleiheit dieser Ströme mit den im Gastroknemius zu erklärenden spricht sich noch in der schon oben S. 589 erwähnten, und auch bereits in meinen „Untersuchungen“ beschriebenen Thatsache aus, dass man beim Betupfen des schrägen künstlichen Querschnittes eines dergestalt aufliegenden Muskels mit einer gut leitenden Flüssigkeit einen negativen Ausschlag erhält, ganz wie wenn man ebenso mit dem Achillesspiegel eines wenig parelektronomischen Gastroknemius verfährt. Dieser negative Ausschlag wird erst jetzt ganz verständlich, wo wir den Sitz der elektromotorischen Kraft am schrägen Querschnitt selber erkannt haben, während früher dunkel blieb, wie ein blos dem Querschnitt angelegter Leiter eine Nebenschliessung für den Strom zwischen Längs- und Querschnitt abgab.

Verbindet man einen Punct des Längsschnittes der Tibialfläche mit einem Puncte des Achillesspiegels, so summirt sich der Neigungsstrom algebraisch zum Strom vom Längs- zum Querschnitt. Nachdem wir an den künstlichen Muskelrhomben erfahren haben, dass die Neigungsstrom-Spannung nicht

1) A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 78. 109.

selten die volle Spannung zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt überwiegt, auch den Grund davon durchschaut haben (s. oben S. 597), kann es nicht mehr auffallen, dass der Neigungsstrom des Achillesspiegels gelegentlich den Strom zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt übertrifft; und der beim ersten Blick so anstössige Strom vom Querschnitt durch den Bo en zum Längsschnitt, ist so auf ein Spiel derselben Kräfte zurückgeführt, welche sonst den Strom in umgekehrter Richtung erzeugen.

Die von uns als Regel angenommene starke Parelektronomie der oberen Enden der Gastroknemiusbündel durch den Versuch zu beweisen, erschien natürlich sehr wünschenswerth, aber wegen der Unzugänglichkeit jener Enden im Inneren des Muskels, beim ersten Blick auch so gut wie unmöglich. Dennoch gelingt dies leicht folgendermaassen. Wie schon oben S. 531 und Fig. 6. gezeigt wurde, kann man den Gastroknemius der Länge nach in zwei Hälften zerreissen, deren jede zum unteren Querschnitt die entsprechende Hälfte des Achillesspiegels hat, während am oberen Querschnitt das damit verwachsene Blatt der sehnigen Scheidewand sitzen bleibt. Hier hat man also die gewünschte Gelegenheit, sich von dem elektromotorischen Zustand des oberen Endes der Gastroknemiusbündel unmittelbar zu unterrichten.

Was zuerst das so gewonnene Präparat im Allgemeinen betrifft, so ist dasselbe wegen der verschiedenen Länge und Richtung der Fasern freilich noch weit davon entfernt, für einen regelmässigen Muskelrhombus gelten zu können; und auf regelmässige elektromotorische Wirksamkeit desselben in allen Fällen ist um so weniger zu rechnen, als die Misshandlung vieler Fasern beim Zerreissen unvermeidlich ist. Dennoch findet zwischen einer solchen Gastroknemiushälfte und dem ganzen Gastroknemius der grosse Unterschied statt, dass, während der letztere keinen oberen Querschnitt hat und nach dipolarem Schema gebaut ist (s. oben S. 536), die Gastroknemiushälfte in den Besitz eines oberen Querschnittes gelangt und zu peripolarem Schema zurückgekehrt ist. In der That ist dieselbe einem allseits ausgebildeten Muskelrhombus zu

vergleichen, an dem nur die beiden schrägen Querschnitte von verschiedener Gestalt sind, und anstatt einander parallel zu sein, senkrecht auf einander stehen.

Hat man einen Gastroknemius, dessen Achillesspiegel wenig parelektronomisch ist, so dass er zwischen Haupt- und Achillessehne einen starken aufsteigenden Strom liefert, in der angegebenen Weise zerrissen, und legt man die eine oder die andere Hälfte mit der halben Haupt- und Achillessehne (den Pnncten *H* und *A* in Fig. 6.) auf: so findet man den aufsteigenden Strom in nur wenig verminderter Stärke vor. Wäre der Kniespiegel, wie der obere schräge natürliche Querschnitt unseres Präparates heissen mag, nicht stark parelektronomisch, so müsste die Anordnung fast unwirksam sein, da man beiderseits spitze Rhombusecken berührt. Benetzt man den Kniespiegel mit einer entwickelnden Flüssigkeit, so erhält man durch Zerstörung der ihn bekleidenden parelektronomischen Schicht einen negativen Ausschlag, und bei stärkerer Parelektronomie des Achillesspiegels wird das Präparat absteigend wirksam. Benetzung der Achillesspiegel-Hälfte erzeugt dann wieder einen positiven Ausschlag, und kann dem aufsteigenden Strom von Neuem die Oberhand verschaffen. Dieser Versuch ist einerlei mit dem in meinem Werke beschriebenen am Biceps und den beiden Köpfen des Semitendinosus[1]), welche Muskeln, gleich unserem jetzigen Präparat, an beiden Enden Sehnenspiegel, d. h. schräge natürliche Querschnitte besitzen. Bringt man diese Muskeln mit ihren sehnigen Enden zwischen die Bäusche, so erhält man bald den auf-, bald den absteigenden, bald gar keinen Strom[2]). Benetzt man mit einer entwickelnden Flüssigkeit den unteren Sehnenspiegel, so erfolgt ein starker aufsteigender Ausschlag; der Ausschlag ist umgekehrt, wenn man den oberen Spiegel benetzt.

Man kann sich aber auch ganz unmittelbar von der stets sehr bedeutenden Parelektronomie des Kniespiegels überzeugen, indem man die eine Thonspitze diesem Spiegel, die andere

---

1) A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 106. 107.
2) A. a. O. Bd. I. S. 497.

einem geeigneten Puncte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes anlegt. Selten findet man mehr als eine Spur des gesetzmässigen negativen Verhaltens des ersteren gegen den letzteren Punct vor.

Legt man beide Thonspitzen dem Kniespiegel an, so findet man bei geringerer Parelektronomie, oder nachdem man durch ein entwickelndes Bad die parelektronomische Schicht zerstört hat, daran die nämliche Vertheilung der Spannungen, wie am Achillesspiegel, mit dem Unterschiede natürlich, dass der Neigungsstrom statt aufsteigend, absteigend ist. Indem sich dieser absteigende Strom algebraisch zu den gewöhnlichen schwachen Strömen des Querschnittes hinzufügt, wird der elektromotorische Mittelpunct des Kniespiegels nach oben verschoben, wie der des Achillesspiegels nach unten, und um den aufsteigenden Strom zwischen einem diesem Mittelpuncte und einem der Hauptsehne, oder dem Längsschnitt in ihrer Umgebung, näheren Puncte zu erhalten, muss man mit den Spitzen der Hauptsehne ganz nahe rücken.

In einigen Fällen war sonderbarerweise der Neigungsstrom am Kniespiegel aufsteigend. Da er aber dabei zugleich am Achillesspiegel abstieg, so ist klar, dass man es hier mit einer unstreitig durch die Dehnung verursachten Störung zu thun hatte, die nichts gegen die Richtigkeit unserer Schlüsse beweist. Ich habe dieselbe nicht weiter untersucht.

Es giebt noch eine andere Art zu zeigen, dass nur die Parelektronomie der Scheidewand das obere Ende des Gastroknemius verhindert, sich gleich der Achillessehne als spitze Rhombusecke zu verhalten. Man spannt den Gastroknemius in der von mir dazu angegebenen Vorrichtung[1]) aus, und schlitzt ihn mit einem scharfen spitzen Messer von der Tibialfläche her längs der einen oder der anderen Seite der sehnigen Scheidewand bis zu deren hinterem gewölbten Rande, so genau es sich thun lässt, auf. Die Wundlippen verkleben alsbald, so dass man ohne darum zu wissen die Verletzung nicht bemerkt. Das

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 67. 76. 130. Taf. I. Fig. 86. 87. 88.

elektromotorische Verhalten aber muss jetzt annähernd so erscheinen, als sei die Parelektronomie der Scheidewand aufgehoben; nicht ganz so, weil 1. es unmöglich ist, den Schnitt rein längs der ganzen Ausdehnung der Scheidewand zu führen, wie auch keine weitere Zerstörung anzurichten; 2. aus nahe liegenden Gründen die Operation auf die eine Seite der Scheidewand beschränkt bleiben muss; 3. die auf der Scheidewand übrigen Stoppeln der durchschnittenen Bündel, so lange als sie nicht völlig abgestorben sind, einen aufsteigenden Neigungsstrom erzeugen, welcher dem absteigenden Neigungsstrom entgegenwirkt, den die von der Scheidewand getrennten Bündel hervorrufen, wie in Fig. 20. der punctirte Muskelrhombus A_1 den Neigungsstrom in dem, B anliegenden Bogen aufhebt.

Trotzdem bewährt sich dieser Versuchsplan ganz vorzüglich. Legt man bei mässiger Parelektronomie des Achillesspiegels die Thonspitzen den Wundlippen in verschiedener Höhe an, so findet man, dass der vor der Verletzung dort vorhandene aufsteigende Strom einem absteigenden gewichen ist. Benetzt man den Achillesspiegel mit einer entwickelnden Flüssigkeit, so nimmt der absteigende Strom ab, und kehrt sich auch wohl wieder um. Aehnlich ist bei grösserer Parelektronomie der Erfolg zwischen Haupt- und Achillessehne, indem jetzt die erstere sich als spitze Ecke eines künstlichen negativ gegen die letztere als spitze Ecke eines natürlichen Muskelrhombus verhält. Sehr lehrreich ist, was sich ereignet, wenn man bei hoher Parelektronomie des Achillesspiegels eines längs der Scheidewand aufgeschlitzten Muskels dem Achillesspiegel selber die Thonspitzen anlegt. Alsdann erhält man hier ganz ebenso einen absteigenden Strom, wie bei geringer Parelektronomie des Achillesspiegels an der Tibialfläche des nicht aufgeschlitzten Muskels einen aufsteigenden Strom. Nichts zeigt wohl deutlicher als diese Thatsache, dass der letztere Strom auf den Neigungsstrom des Achillesspiegels zurückzuführen ist.

Es ist somit gewiss, dass die stets in hohem Grade vorhandene Parelektronomie der Scheidewand die Ursache der Abweichungen ist, welche das elektromotorische Verhalten des

unversehrten Gastroknemius auch bei Berücksichtigung der Neigungsströme zeigt. Die Thatsache der starken Parelektronomie des einen Endes eines Muskels bei wechselnder Parelektronomie des anderen ist übrigens nicht so fremdartig, wie sie beim ersten Blick scheinen mag. Die früher von mir geäusserte Vermuthung, dass die beiden Enden eines langen Muskels verschieden parelektronomisch sein könnten[1]), hat sich so sehr bestätigt, dass dies, wie ich unten zeigen werde, vielmehr die Regel auch an den absolut genommen sehr kurzen Oberschenkelmuskeln des Frosches ist. Allerdings ist hier bald das eine bald das andere Ende stärker parelektronomisch. Doch ist nicht zu übersehen, dass am Gastroknemius die beiden natürlichen Querschnitte beständig sehr verschiedenen Bedingungen ausgesetzt sind.

Wenn nach dem Allen noch zweifelhaft sein könnte, dass die elektromotorischen Eigenthümlichkeiten des Gastroknemius auf seinem Bau beruhen, so müsste dieser Zweifel weichen vor der Thatsache, dass es noch einen Muskel giebt, der fast genau dieselben Eigenthümlichkeiten zeigt, und dass dieser dem Gastroknemius ganz ähnlich gebaut ist, der innerste Kopf nämlich des *Triceps femoris* Cuv., den ich von Anfang an mit dem Gastroknemius zusammengestellt habe, als ebenso stark, sicher und ausdauernd wirksam in aufsteigender Richtung[2]). Der Triceps — ich verstehe darunter, der Kürze halber, allein den innersten Kopf dieses Muskels — hat so wenig wie der Gastroknemius einen oberen natürlichen Querschnitt, ja er verwirklicht das oben S. 529. 530 vom Gastroknemius gegebene Schema insofern noch genauer denn dieser Muskel selber, als an ihm die Unregelmässigkeit fehlt, welche am Gastroknemius die Nebensehne bedingt. Demgemäss findet man am unteren Sehnenspiegel des Triceps dieselbe Verschiebung der Spannungen, wie am Achillesspiegel; am Längsschnitt seiner Femoralfläche denselben aufsteigenden Strom, wie an dem der Tibialfläche des Gastroknemius; und zwischen oberer und unterer

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 339.
2) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 492. 493. 496. 497.

Sehne des Triceps, wie zwischen Haupt- und Achillessehne am Gastroknemius, einen starken aufsteigenden Strom, der nicht verschwindet, wenn der obere Ableitungspunct an den oberen Rand des Sehnenspiegels verlegt wird. Aufschlitzen des Triceps längs der Scheidewand an der Femoralfläche ruft eine lebhafte absteigende Wirkung hervor. Zwischen dem oberen Rand des Sehnenspiegels und der oberen Sehne erhält man aber am Triceps stets einen absteigenden Strom, was am Gastroknemius nur ausnahmsweise vorkommt; und um am Triceps zwischen einem tieferen Längsschnittspunct der Femoral-, und einem höheren Querschnittspunct der Bauchfläche den verkehrten Strom vom Quer- zum Längsschnitt erfolgen zu sehen, muss der Höhenunterschied der beiden Puncte grösser gewählt werden, als in dem entsprechenden Versuch am Gastroknemius.

(649)

Zweite Abtheilung.

Vom Strom des querdurchschnittenen M. gastroknemius des Frosches.

§. X.

Die Abweichungen vom gesetzlichen elektromotorischen Verhalten, die der querdurchschnittene Gastroknemius zeigt, beruhen gleichfalls auf den Eigenthümlichkeiten seines Baues, und nicht, wie Herr Budge will, auf einem im Muskel aufsteigenden, von Längs- und Querschnitt unabhängigen Strom.

Am unversehrten Gastroknemius bleibt nach dem Vorigen keine nennenswerthe Schwierigkeit zurück. Hrn. Budge's auf Beobachtungen daran gestützter Angriff auf das Gesetz des Muskelstromes beruhte auf groben Missverständnissen, und die neuen von uns entdeckten Ströme, die beim ersten Blick ausserhalb dieses Gesetzes zu stehen schienen, sind ebenfalls darauf zurückgeführt. Herr Budge hat aber auch Versuche am querdurchschnittenen Gastroknemius angestellt, und glaubt auch hier zu Ergebnissen gelangt zu sein, die mit meinem Gesetz unverträglich sind.

1. Lege man am Gastroknemius zwei Querschnitte an, so

erhalte man zwischen beliebigen Puncten derselben stets einen im Muskel aufsteigenden Strom.

2. Durch drei Querschnitte, deren mittlerer die Axe des Muskels hälftet, (nach Hrn. Budge's verkehrter Anschauung im Aequator liegt), stellt man aus dem Gastroknemius zwei gleich lange Stücke dar, die an beiden Enden durch künstlichen Querschnitt begrenzt sind. An jedem dieser Stücke sei der Strom vom (angeblichen) Längsschnitt zum unteren Querschnitt stärker als der zum oberen, ja der letztere Strom habe an der oberen Hälfte in der Regel, und an der unteren auch zuweilen, die umgekehrte Richtung, d. h. der künstliche Querschnitt verhalte sich positiv gegen den Längsschnitt.

3. Verbinde man einen höher gelegenen Querschnitt mit einem tiefer gelegenen Puncte des (angeblichen) Längsschnittes, so erfolge nicht stets, wie das Gesetz es verlange, ein absteigender Strom, sondern wenn man nur ein kleines Stück am Kopf abgeschnitten habe, sei der Strom acht Mal unter zehn aufsteigend, mache man den Querschnitt tiefer, so sei er zwar häufig absteigend, wenn aber der künstliche Querschnitt nicht mehr ganz frisch sei, erhalte der aufsteigende Strom das Uebergewicht. Durch Anfrischen des künstlichen Querschnittes trete vorübergehend wieder der absteigende Strom hervor [1]).

Wie man nach dem Eingangs Gesagten (s. oben S. 521. 522) erräth, erklärt Hr. Budge diese Versuche durch die Annahme, dass sich zu dem durch das Gesetz des Muskelstromes vorgesehenen Strom vom Längs- zum Querschnitt, den er den „künstlichen" nennt, ein in dem Muskel aufsteigender Strom, der „natürliche" Muskelstrom (Hrn. Matteucci's Courant propre), algebraisch hinzufüge. Der letztere Strom sei (Hr. Budge vergisst zu sagen, bei gleichem, oder nicht rascher als die elektromotorische Kraft wachsendem Widerstande des Kreises) um so stärker, je weiter aus einander gelegene Puncte des Muskels in's Spiel kommen. Das abwechselnde Ueberwiegen des „natürlichen" und des „künstlichen" Muskelstromes im letzten Versuch aber stellt sich Hr. Budge offenbar so vor, dass

1) Erste vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 208. 209.

der künstliche Querschnitt mit der Zeit weniger negativ und durch das Anfrischen wieder negativer werde.

Bringen wir also zuerst ein durch zwei senkrecht auf die Muskelaxe geführte Schnitte (*ss'*, *σσ'* Fig. 4. Taf. XIV.) begrenztes Stück des Gastroknemius mit diesen Schnitten zwischen die Thonschilder der Zuleitungsgefässe. Hr. Budge hat Recht, und ich wusste es längst, es erfolgt in diesem Falle meist ein ziemlich starker aufsteigender Strom. Um aber daraus den Schluss zu ziehen, den Hr. Budge zog, oder um statt dessen den Erfolg zu erwarten, dem er entgegensah, — dazu gehört die Naivetät, von der er uns schon mehrere Proben gegeben hat. Wie Hr. Budge den Umfang des Gastroknemius ohne Weiteres für Längsschnitt nimmt, so nimmt er hier, unbesehen, den quer durch den Muskel geführten Schnitt für Querschnitt. Wie aber dort der angebliche Längsschnitt in Wirklichkeit Querschnitt ist, so wird sich jetzt zeigen, dass gelegentlich auch scheinbarer Querschnitt Längsschnitt sein kann. Auch hier hätte Hr. Budge mit nur wenig Achtsamkeit leicht schon in bekannten Grundsätzen die Erklärung seiner vermeintlichen Entdeckungen gefunden.

Zunächst hat Hr. Budge völlig den oben S. 560 u. S. 586 besprochenen Umstand übersehen. dass ein schräger Querschnitt sich positiv gegen einen senkrechten verhält. Prüft man genauer den oberen Querschnitt unseres Präparates, so findet man, dass die Fasern daran schräg zerschnitten sind. Hingegen an dem unteren Querschnitt sind sie vergleichsweise senkrecht zerschnitten. Dies ist die natürliche Folge davon, dass die Fasern um so steiler verlaufen, von je tieferen Puncten der sehnigen Scheidewand sie entspringen (s. Fig. 4.). Wäre dies nicht der Fall, so würden die untersten Fasern an der Tibialfläche unter dem doppelten Winkel von dem divergiren, unter welchem die oberen Fasern beiderseits an die sehnige Scheidewand stossen, und der Muskel würde in der Tibialfläche unten schwalbenschwanzförmig auslaufen. Die Gesammtheit der untersten Fasern würde einen Raum einschliessen, vergleichbar einem durch die Tibialfläche in der Axe durchschnittenen Kegel. Da nun aber die Fasern unten zusammenschliessen, so müssen sie, wie auch der Au-

genschein lehrt, sich mehr und mehr der Senkrechten nähern. Also schon so wird verständlich, dass ein solches Präparat einen aufsteigenden Strom giebt, da der schräge obere Querschnitt sich positiv verhalten muss gegen den senkrechten unteren Querschnitt. Dass dieser Umstand wirklich von Belang ist, erhellt daraus, dass wenn man unten, gleichviel in welcher Richtung, den Querschnitt schräg anlegt, der aufsteigende Strom an Stärke abnimmt, bei grosser Schräge günstigen Falls sogar sich umkehrt.

Rückt man mit dem oberen Querschnitt ss' herab, so bleibt der Erfolg derselbe, und die Erklärung fährt zu gelten fort, da der obere Querschnitt stets der schrägere ist. Rückt man mit dem unteren Querschnitt $\sigma\sigma'$ hinauf, so bleibt gleichfalls der Erfolg derselbe, d. h. man erhält noch stets einen aufsteigenden Strom, da aber innerhalb des dicksten Theiles des Muskels die Richtung der Bündel sich nicht merklich ändert, so kommt ein Punct, wo unsere Erklärung ihre Grundlage einzubüssen scheint. Bei einiger Aufmerksamkeit ergiebt sich aber auch jetzt noch ein Grund für den aufsteigenden Strom, selbst wenn man nur den gewöhnlichen Muskelstrom berücksichtigt. Man mag nämlich ein solches, durch zwei auf die Muskelaxe senkrechte Querschnitte begrenztes Gastroknemius-Präparat noch so sorgfältig mit dem schärfsten Rasirmesser anfertigen, stets nimmt es mehr oder weniger die Beschaffenheit an, die aus Fig. 8. erhellt, welche, wie schon oben S. 534 gesagt wurde, einen von vorn gesehenen Frontalschnitt des linken Gastroknemius vorstellt. An beiden Querschnitten findet sich in der Mitte in grösserer oder geringerer Ausdehnung reiner Längsschnitt, während er sich aber oben kegelförmig hervorwölbt, ist er unten dellenförmig eingezogen. Es liegt daher der obere Querschnitt dem Thonschilde vorzugsweise mit seiner positiven Mitte m', der untere mit seinem negativen Rande r, an, und so muss ein aufsteigender Strom entstehen (Bogen 1. in der Figur).

Die Richtigkeit dieser Erklärung ist leicht zu beweisen, indem man statt die Gesammtquerschnitte mittels der Thonschilder, einzelne Puncte derselben mittels der Thonspitzen

untersucht. Alsdann findet man den aufsteigenden Strom nur zwischen m' und $r_{,}$, zwischen $m_{,}$ und r' (Bogen 2.) dagegen steigt der Strom in dem Muskel abwärts. Hrn. Budge's Angabe, dass der Strom zwischen beliebigen Puncten beider Querschnitte stets aufsteige, ist einfach falsch.

Bei diesem Versuch zeigt sich noch ein Umstand, der unsere ganze Aufmerksamkeit verdient. Zwischen m' und $m_{,}$ und zwischen r' und $r_{,}$ sollte kein Strom entstehen, da die beiden ersten Puncte dem Längsschnitt, die beiden letzten gleich schrägem Querschnitt angehören. Dennoch findet man zwischen r' und $r_{,}$ regelmässig einen aufsteigenden, zwischen m' und $m_{,}$ nicht selten einen schwächeren absteigenden Strom (Bogen 3. und 4.). Der erstere Strom ist, wie ich kaum zu sagen brauche, der Neigungsstrom des Achillesspiegels und geht von dessen Grenzschicht aus. Er ist daher um so stärker, je weniger parelektronomisch der Achillesspiegel; und er wächst, wenn man, während die Thonspitzen r' und $r_{,}$ berühren, den Spiegel mit einer entwickelnden Flüssigkeit betupft. Der gelegentlich zwischen m' und $m_{,}$ absteigende Strom ist der Neigungsstrom der Scheidewand, und geht von deren Grenzschicht aus. Dass bei gleicher Parelektronomie dieser Strom sich hier leichter bemerklich macht als am unversehrten Muskel, rechtfertigt sich durch folgende Betrachtung. Die den absteigenden Neigungsstrom erzeugende Grenzschicht der Scheidewand ragt in Wirklichkeit kaum höher hinauf als der obere Rand des Achillesspiegels, weil die oberen Bündel fast senkrecht an die Scheidewand stossen (s. oben S. 605). Daraus folgt, dass die Hauptsehne, als fast gleich entfernt vom positiven oberen Rande der Grenzschicht des Achillesspiegels, und vom negativen oberen Rande der Grenzschicht der Scheidewand, sich neutral verhält unter Umständen, wo bei der gegenwärtigen Anordnung der Punct m' sich deutlich negativ zeigt. Die Ströme zwischen $m', m_{,}$; $r', r_{,}$ übertreffen leicht an Stärke, und überdauern namentlich, die beim ersten Blick allein berechtigten Ströme vom Längs- zum Querschnitt zwischen $m', r_{,}$; $m_{,}, r'$. Auch die Erklärung dieses Umstandes folgt leicht aus Fig. 8. Die durch-

schnittenen Bündel sterben schneller ab, so dass deren elektromotorische Wirkung gegen die der unversehrten Bündel zurücktritt. Die so geschwächten Bündel sind in der Figur durch eine dunklere Haltung ausgezeichnet. Während also der gewöhnliche Muskelstrom zwischen m', $r_,$; $m_,$, r' bereits dem Erlöschen nahe ist, können zwischen m', $m_,$; r', $r_,$ die Neigungsströme noch in voller Stärke kreisen.

Werden statt einzelner Puncte der Gesammtquerschnitte diese selber abgeleitet, so versteht es sich, dass die Neigungsströme sich gleichfalls in das Ergebniss mischen. Man übersieht jetzt, auf wie verwickelte Art dies Ergebniss zu Stande kommt. Erstens ist im Allgemeinen der obere Querschnitt schräger als der untere. Zweitens drängt sich in der Mitte des oberen Querschnittes reiner Längsschnitt zur Berührung, während unten der mehr senkrechte Querschnitt des Randes vorspringt. Drittens bekämpfen einander der Neigungsstrom der Scheidewand und des Achillesspiegels. Unter den gewöhnlichen Umständen siegt der letztere, so dass der Strom zwischen den Gesammtquerschnitten schliesslich aus dreifachem Grunde aufsteigt.

Hat man stark parelektronomische Gastroknemien, an denen der Neigungsstrom des Achillesspiegels nicht mehr in merklicher Grösse aufsteigt, oder gar bereits absteigt, so wird der Erfolg zwischen den Gesammtquerschnitten unbeständig. Bald steigt zwischen den Gesammtquerschnitten der Strom, vermuthlich aus den beiden ersterwähnten Gründen, noch spurweise auf, selbst wenn er schon zwischen Haupt- und Achillessehne, und längs dem Achillesspiegel, absteigt; bald ist er dort abwärts gerichtet, selbst wenn er hier noch aufsteigt. Im letzteren Falle mag es der Neigungsstrom der Scheidewand sein, der sich geltend macht. Man findet von diesem Verhalten, welches in so schlagendem Widerspruch mit Hrn. Budge's Angaben steht, ein Beispiel in der sogleich zu erörternden dritten Tabelle. Bei hochgradiger Parelektronomie, wenn zwischen Haupt- und Achillessehne ein kräftiger Strom absteigt, fand ich auch den Strom zwischen den Gesammtquerschnitten stets im gleichen Sinne vor. Wird endlich am Achillesspiegel die parelektronomische Schicht zerstört, so entsteht zwischen den Gesammt-

querschnitten unfehlbar ein starker aufsteigender Strom. Vergl. Tab. III.

Wir gehen über zur Betrachtung des Falles, wo der eine Ableitungspunct am Muskelumfange liegt. Wir nennen dabei, und überhaupt fortan, oberen und unteren Strom den mit dem oberen und den mit dem unteren Querschnitt gewonnenen, obere und untere Spannung die Spannungen, eigentlich Spannungsunterschiede, welche diesen Strömen zu Grunde liegen. Hr. Budge ist hier abermals in den Fehler verfallen, der sich durch seine ganze Arbeit zieht, den Muskelumfang in allen seinen Puncten schlechthin für Längsschnitt zu nehmen. Ich brauche wohl nicht noch einmal darauf zu bestehen, dass dieser Umfang, soweit der Achillesspiegel reicht, also zum grössten Theil, natürlicher Querschnitt ist, und dass nur der Tibialfläche entlang sich ein schmaler Streif natürlichen Längsschnittes herabzieht. Wir haben also vielmehr zwei Fälle zu unterscheiden, den, in welchem der zweite Ableitungspunct dem Längsschnitt der Tibialfläche, und den, in welchem er dem Achillesspiegel angehört.

(1.) Der erstere Fall ist der einfachere, obschon schwerer im Versuch zu behandeln, da die Ableitung vom Längsschnitt nicht gut anders als mittels einer Thonspitze gelingt. Man legt das Gastroknemius-Präparat, die Tibialfläche nach oben, auf die dreieckige Glasplatte des allgemeinen Trägers, schiebt gegen den einen Querschnitt das Thonschild des einen Zuleitungsgefässes, und berührt mit der Thonspitze die zur Ableitung gewählten Puncte der Tibialfläche, nachdem man sie, um sie wiederzufinden, mit Russ bezeichnet hat. Tab. III. enthält das Ergebniss solcher Versuche an fünf Gastroknemien. Die Zahlen und Vorzeichen darin haben dieselbe Bedeutung wie in den beiden ersten Tabellen (s. oben S. 561). In der ersten wagerechten Reihe finden sich die Wirkungen zwischen den sehnigen Enden, d. h. zwischen Haupt- und Achillessehne. Dann folgen zwei Abtheilungen, deren obere die obere, die untere die untere Spannung bei grösster, kleinster und mittlerer Spannweite zeigt; im letzteren Falle berührte die Thonspitze die Tibialfläche des Präparates in der Mitte seiner Länge. Die letzte

Reihe enthält die Wirkungen zwischen den Gesammtquerschnitten, wobei die Thonspitze mit dem zweiten Zuleitungsgefässe vertauscht wurde. Endlich die beiden senkrechten Spalten, welche einem jeden Gastroknemius entsprechen, zeigen die nach diesem Plane gemessenen Spannungen vor und nach der Zerstörung der parelektronomischen Schicht durch Kreosot.

Aehnliche Versuche finden sich in der letzten wagerechten Doppelreihe der zehnten Tabelle, in der die Zahlen und Vorzeichen auch noch dieselbe Bedeutung haben. Doch geschah hier die Messung allein bei mittlerer Spannweite, und die Gastroknemien waren nicht besonders parelektronomisch. Die Muskeln in Tab. III. dagegen stammten, bis auf den letzten, von erkälteten Fröschen, und waren stark parelektronomisch. Sie sind in der Tabelle nach dem wachsenden Spannungsunterschiede ihrer sehnigen Enden, oder nach ihrer abnehmenden Parelektronomie geordnet, daher ein Muskel obenansteht, der, einem erfrorenen Frosche entlehnt, zwischen den sehnigen Enden absteigend wirkte[1]).

Nach unserer Anschauung muss das Ergebniss dieser Versuche folgendes sein. Bei hoher Parelektronomie des Achillesspiegels, wenn dessen Grenzschicht keinen merklichen Strom emporschickt, muss die obere Spannung sich der unteren nähern. Zu erreichen braucht sie dieselbe, aus den erwähnten Gründen, nicht. Die Spannweite kann dabei keinen anderen Einfluss üben, als an regelmässig gefaserten Muskeln, d. h. die mittlere Spannweite muss die grösste Spannung liefern. In der That, dadurch dass der Achillesspiegel so neutral ward wie der Längsschnitt, ist, abgesehen von der aus Fig. 8. erhellenden, verschiedenen Beschaffenheit der beiden Querschnitte, die Vertheilung der Spannungen an der Oberfläche unseres Gastroknemius-Präparates dieselbe geworden, wie an einem regelmässigen, durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskel. Wird die parelektronomische Schicht zerstört, so tritt zu den vorigen Wirkungen der aufsteigende Neigungsstrom.

1) Monatsberichte der Berliner Akademie. 1851. S. 392; — Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 34. 38.

Dieser ist um so stärker, je grösser die Spannweite. Seine Spannung fügt sich hinzu zur unteren und zieht sich ab von der oberen Spannung zwischen Längs- und Querschnitt. Die untere Spannung muss also die vor Zerstörung der Schicht übertreffen, um so mehr, je grösser die Spannweite, die obere muss unter die früher beobachtete sinken, um so mehr, je grösser die Spannweite; ja bei grösster, vielleicht schon bei mittlerer Spannweite kann der aufsteigende Neigungsstrom den absteigenden oberen Strom überwiegen. Haben wir ihn doch oben S. 568 sogar den Strom zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt überwältigen sehen. Bei mässiger Parelektronomie wird zwischen diesen beiden Grenzzuständen ein mittlerer stattfinden. Die untere Spannung wird von vorn herein die obere übertreffen; jene wird von vorn herein um so grösser, diese um so kleiner sein, je grösser die Spannweite In welchem Grade dies gewöhnlich der Fall ist, kann nur der Versuch lehren. Umgekehrt bei so hoher Parelektronomie, dass die Grenzschicht des Achillesspiegels absteigend wirkt, wird die obere Spannung vermehrt, die untere vermindert, um so mehr, je grösser die Spannweite. Die erstere wird von vorn herein die letztere übertreffen; ja bei grösster, vielleicht schon bei mittlerer Spannweite wird der absteigende Neigungsstrom den aufsteigenden unteren Strom überwiegen.

Diese Schlüsse finden sich in Tab. III. so bestätigt, dass man glauben könnte, sie seien der Tabelle entlehnt. Vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht nähert sich das Verhältniss des Mittels der oberen zu dem der unteren Spannung bei den drei Spannweiten um so mehr der Einheit, je stromloser der Muskel zwischen sehnigen Enden ist. Bei Muskel II. ist das Verhältniss wie von $-1{,}000 : +1{,}007$. Es wird um so kleiner, je stärker die Muskeln aufsteigend wirken, und es übersteigt bedeutend die Einheit an dem erfrorenen Muskel mit abwärts wirksamer Grenzschicht des Achillesspiegels. Dabei giebt 7 Mal auf 8 die mittlere Spannweite die grösste Spannung. Nur die Wirkung zwischen den Gesammtquerschnitten bietet die schon bezeichnete Abweichung dar. Im Allgemeinen hält diese Wirkung Schritt mit dem Unterschiede zwischen

oberer und unterer Spannung. Bei Muskel III. beläuft sie sich auf eine blosse Spur ($\frac{1}{14,2}$ des Mittels der absoluten Werthe der oberen und unteren Spannungen). Bei Muskel II. aber ist sie bereits absteigend, obschon zwischen den sehnigen Enden der Muskel noch aufsteigend wirkte, und das Mittel der unteren das der oberen Spannungen übersteigt. Bei mittlerer Parelektronomie und Spannweite lehrt Tab. X., dass allerdings die untere Spannung die obere ansehnlich (im Verhältniss von 1,73 : 1,00 im Mittel aus 10 Versuchen) übertrifft. Nicht ein einziges Mal ist jedoch vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht die obere Spannung umgekehrt, was Hr. Budge für die Regel ausgiebt. Nach der Zerstörung ändert sich dies freilich, im Einklang mit der Theorie. Nun erscheint die obere Spannung verkleinert, die untere vergrössert. Beides ist um so mehr der Fall, je grösser die Spannweite. Die wenigen Ausnahmen hiervon in Tab. III. rühren daher, dass nach Zerstörung der Schicht der Strom von der eben erst erreichten Höhe rasch wieder herabsinkt[1]), wodurch die Zunahme der Spannung beim Uebergehen von kleinerer zu grösserer Spannweite leicht verdeckt wird. Bei grösster Spannweite ist jetzt regelmässig die obere Spannung umgekehrt. Sogar bei mittlerer Spannweite ist sie dies oft, oder sie ist wenigstens absolut, vollends im Vergleich zur unteren Spannung, tief gesunken. Zwischen den Gesammtquerschnitten steigt ein kräftiger Strom empor, der den früher vorhandenen um so mehr übertrifft, je parelektronomischer der Muskel war. Wirkt endlich der Muskel, wie I. in Tab. III., zwischen den sehnigen Enden vor Zerstörung der Schicht absteigend, so zeigt sich, wie die Theorie es verlangt, die obere Spannung um so grösser, die untere um so kleiner, je grösser die Spannweite, ja bei der grössten Spannweite ist die untere Spannung verkehrt. Zwischen den Gesammtquerschnitten steigt der Strom abwärts. Die Zerstörung der Schicht hat dasselbe Verhalten zur Folge, wie bei geringerer Parelektronomie, nur bleiben die Wirkungen sehr viel schwächer, weil der Muskel im Absterben begriffen ist[2]).

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 35.

2) Untersuchungen a. a. O. S. 38.

Dass auch bei diesen Versuchen der Triceps sich dem Gastroknemius ähnlich verhält, geht schliesslich gleichfalls aus Tab. X. hervor. Auch am Triceps übertrifft bei mittlerer Parelektronomie und Spannweite der untere Strom den oberen stets bereits um eine gewisse Grösse; aber nach Zerstörung der parelektronomischen Schicht wird das Verhältniss des letzteren zum ersteren ein kleineres, wenn auch nicht so klein wie am Gastroknemius, ja der obere Strom kann verkehrt erscheinen (III. A.). Doch zeigt es sich, dass der Triceps durch das Kreosot mehr leidet als der Gastroknemius, so dass in der Hälfte der Versuche die absolute Verstärkung des unteren Stromes vorüber war, ehe sie gemesssen werden konnte.

(2.) Was den zweiten Fall betrifft, wo der eine Ableitungspunct, statt am Längsschnitt, sich am Achillesspiegel befindet, so ist zunächst klar, dass er sich vom vorigen nicht unterscheidet, wenn der Achillesspiegel bis zur Unwirksamkeit parelektronomisch ist, und die Ableitung vom Achillesspiegel ohne Zerstörung der Schicht geschieht, z. B. durch Thon, der mit einer passend verdünnten Kochsalzlösung angeknetet ist[1]). Bei minder parelektronomischem Spiegel besteht der Unterschied zwischen dem jetzigen und dem vorigen Falle darin, dass auf der einen Seite, anstatt des neutralen Längsschnittes, negativer Querschnitt berührt wird, der sich jedoch theils wegen seiner Schräge, theils wegen der noch vorhandenen Parelektronomie nur schwach negativ verhält. Schwach negativ verhält sich aber auch nur, aus den oben S. 652 erwähnten Gründen, im Ganzen genommen der obere Querschnitt. Mit sinkender Parelektronomie nähert sich also die mittlere Spannung des Achillesspiegels der des oberen Querschnittes, ja es ist kein Grund da, weshalb nicht zuletzt der Achillesspiegel negativer werden sollte, als der obere Querschnitt, da dann ganz abgesehen vom Neigungsstrome der obere Strom schon verkehrt sein würde. Mit sinkender Parelektronomie tritt nun aber zugleich der aufsteigende Neigungsstrom hervor. Man sieht, wie viel leich-

1) Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. A. a. O. S. 94. 95.

teres Spiel er jetzt hat, um den oberen Strom verkehrt erscheinen zu lassen, als im Falle (1), wo ihm der Unterschied zwischen Längsschnitt und schrägem künstlichen Querschnitt entgegenstand. Findet er den oberen Strom nicht schon verkehrt, so braucht er, um jenen Erfolg herbeizuführen, hier doch nur den geringen Unterschied zwischen schrägem natürlichem und künstlichem Querschnitt zu besiegen.

Doch leugne ich auch hier, dass bei mittlerer Parelektronomie und Spannweite der obere Strom in der Regel verkehrt sei, wie Hr. Budge behauptet. Ich sah ihn neuerdings so nur einmal in zehn Versuchen, worin die Muskeln zweimal auf Eiweisshäutchen, zweimal auf Thonschildern, zweimal auf Bäuschen mit gesättigter Kochsalz-, zweimal auf solchen mit schwefelsaurer Zinklösung, und zweimal auf solchen mit destillirtem Wasser getränkt lagen. Da jenes eine Mal bei Anwendung des destillirten Wassers vorkam, dessen sich Herr Budge stets zur Ableitung bediente, so entstand die Frage, ob vielleicht der Strom damit leichter verkehrt erscheine. Allein in fünf ferneren Versuchen mit destillirtem Wasser hatte der obere Strom die gewöhnliche, also im Ganzen nur 1 Mal auf 15 die verkehrte Richtung.

Auch Hr. Cima erhielt übrigens einen aufsteigenden, d. h. verkehrten Strom von einer Säule aus den unteren Abschnitten von Gastroknemien, die in ihrer oberen Hälfte querdurchschnitten und so angeordnet waren, dass der Querschnitt jedes Muskels die Achillessehne des folgenden berührte. Wenn der Querschnitt die Länge der Muskeln hälftete, war die Säule unwirksam[1]). Hr. Cima und Hr. Budge hatten vielleicht zufällig wenig parelektronomische Gastroknemien, oder sie schützten die Muskeln nicht sorgfältig genug vor Entwickelung ihres Stromes. Berühren des Achillesspiegels mit dem Finger genügt bekanntlich, um den Strom sehr zu verstärken. Dann haben sie offenbar keine besondere Sorgfalt auf die Herstellung des

---

1) Saggio storico-critico e sperimentale sulle contrazioni galvaniche e sulle correnti elettro-fisiologiche. In Zantedeschi's Raccolta fisico chimica italiana, ec. 1848. vol. III. p. 504. §. 22.

oberen Querschnittes verwendet, da sie die Schwierigkeit nicht erwähnen, auf die man dabei trifft. So war in dem Gemisch von Längsschnitt in der Mitte und schrägem Querschnitt am Rande, welches der obere Querschnitt stets darbietet (s. oben S. 652), das positive Element vermuthlich mehr als nöthig vertreten. Dass in Hrn. Cima's Versuch die aufsteigende Wirkung mit der Länge der im Kreise befindlichen Achillesspiegel-Strecken sank, erscheint in der Ordnung. Endlich Herrn Budge's Angabe, wonach der Strom besonders häufig verkehrt sein soll, wenn man nur ein kleines Stück vom Kopf des Muskels abschneide (s. oben S. 650), erklärt sich aus der auf die Scheidewand fast senkrechten Richtung der obersten Bündel (s. oben S. 605. 653), in Folge deren der angebliche Querschnitt zu fast reinem Längsschnitt wird.

Dagegen hat Hr. Budge darin Recht, dass er den oberen Strom, nachdem dieser eine Zeitlang im richtigen Sinne, also absteigend, floss, sich öfters umkehren, und beim Anfrischen des oberen künstlichen Querschnittes absteigend wiederkehren lässt. Nur ist dies keine Entdeckung des Hrn. Budge, sondern auch diese Thatsache findet sich bereits in meinem Werke ausdrücklich beschrieben und erörtert[1]), was ihm nicht hätte entgehen dürfen. Dort hätte er gelernt, da seine Sinne zu blöde waren, damit er es selbst merke, dass, wo er in seinen Versuchen Längsschnitt vor sich zu haben glaubte, er es mit natürlichem Querschnitt zu thun hatte. Dadurch wird aber der Stand der Dinge hier ein ganz anderer. Es handelt sich nicht mehr, wie Hr. Budge glaubt, um die Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt, sondern die Frage ist nur noch, weshalb der ob seiner Schräge und Parelektronomie gegen den künstlichen Querschnitt ursprünglich positive Achillesspiegel bei längerem Aufliegen negativ dagegen werde. A. a. O. deutete ich dies so, dass einestheils der natürliche Querschnitt durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht an Negativität zunehme, anderntheils der künstliche Querschnitt mit der Zeit an Negativität verliere, durch Anfrischen aber

1) A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 122.

wieder daran gewinne, und diese Erklärung ist auch noch heute richtig, wenn gleich nicht in dem Sinne, in dem ich sie damals gab.

Damals dachte ich mir, in Folge der unvollkommenen Versuche mit polarisirbaren Elektroden, dass überhaupt die Muskeln bei längerem Aufliegen durch eine mit ihrem Querschnitt vor sich gehende Veränderung an elektromotorischer Kraft verlieren, und dass die Erneuerung des Querschnittes die Kraft zum Theil wieder herstelle [1]). Herr Budge, der seinen „natürlichen“ Strom deshalb abwechselnd die Oberhand gewinnen und unterliegen lässt, weil der „künstliche“ sinke und sich durch Anfrischen des Querschnittes wieder hebe, hat diese Lehre ohne die Kritik von mir entnommen, die hier am Orte gewesen wäre, und zu der er die Mittel besass, da er mit meinen unpolarisirbaren Zuleitungsgefässen arbeitete. Denn sobald ich selber in den Besitz dieser Mittel gelangt war, fand ich, dass jene ältere Meinung auf einer durch die Polarisation erzeugten Täuschung beruhte, und dass innerhalb der Fristen, welche hier in Betracht kommen, die elektromotorische Kraft des Muskels, abgesehen von der inneren Polarisation, beständig bleibt [2]). Danach würde unsere Deutung des Umschlagens der Stromrichtung zwischen natürlichem und künstlichem Querschnitt untergraben sein. Selbst wenn man annimmt, dass der natürliche Querschnitt schräger wäre als der künstliche, bliebe zu erwägen, dass die gewöhnlich zur Ableitung gebrauchten Flüssigkeiten die Kraft der parelektronomischen Schicht nur vermindern, nicht vernichten [3]), und dass also ein negatives Verhalten des natürlichen gegen den künstlichen Querschnitt dergestalt schwer herauskommen würde. Wenn aber dies einmal erreicht wäre, könnte das Erneuern des künstlichen Querschnittes nichts mehr daran ändern. Am wenigsten liesse sich von diesem Gesichtspuncte aus Hrn. Budge's An-

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 714; — Bd II. Abth. I. S. 19. 145. 150. 179. 283. 557; — Abth. II. S. 108. 113. 122.

2) Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1862. Bd. VIII. S. 409 Anm. 1.

3) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 58. 101. 102.

schauung rechtfertigen, da es für seinen „natürlichen“ Strom keinen Grund giebt, weshalb er mit der Dauer des Aufliegens wachsen sollte, wie für die Negativität des natürlichen Querschnittes ein solcher in der Zerstörung der parelektronomischen Schicht liegt.

Wenn ich jetzt die von der Umkehr des Stromes zwischen Achillesspiegel und oberem Querschnitt früher gegebene Erklärung dennoch aufrechterhalte, so beruht dies darauf, dass das Gesagte zunächst nur für den Querschnitt regelmässig gefaserter Muskeln gilt. Dagegen sind allerdings Verhältnisse denkbar, unter denen die Negativität eines Querschnittes bei längerem Aufliegen sinken und durch Erneuerung des Querschnittes wiederhergestellt werden kann. Dies trifft am Gastroknemius zu, wie ein Blick auf Fig. 8. lehrt. Sterben die dunkler gehaltenen, durchschnittenen Bündel ab, so verwandelt sich der schräge künstliche Querschnitt in Längsschnitt; wird der scheinbare Querschnitt wieder angefrischt, so hat man statt Längsschnitt wieder schrägen Querschnitt u. s. f.

Und somit ist auch hier Alles soweit erklärt, als es sich der Mühe verlohnt, dergleichen Erscheinungen in's Einzelne zu verfolgen, nachdem einmal der allgemeine Grundsatz erkannt ist, aus dem sie abzuleiten sind.

Dritte Abtheilung.

Vom Strom der mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches.

§. XI.

Die mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches bieten so wenig wie der Gastroknemius eine sichere Spur eines nach der Richtung ihrer Axe darin vertheilten Gegensatzes.

Aus dem vorigen Paragraphen erhellt, dass die elektromotorischen Unregelmässigkeiten am querdurchschnittenen Gastroknemius, welche Hr. Budge auf einen unabhängig von Längs- und Querschnitt im Muskel aufsteigenden Strom deutet, ebenso

leicht auf Eigenthümlichkeiten des Gastroknemiusbaues zurückzuführen sind, wie die am unversehrten Muskel. In allen Fällen, wo eine beim ersten Blick aus dem Gesetz des Muskelstromes nicht zu rechtfertigende Wirkung auftrat, haben wir bei näherer Betrachtung dafür einen aus diesem Gesetze fliessenden Grund gefunden. Der Gastroknemius hat keinen solchen Eigenstrom, wie einst Hr. Matteucci wollte, und wie jetzt Hr. Budge will.

Gesetzt aber, er hätte ihn, so wäre natürlich nicht anzunehmen, dass dieser Strom unter allen Muskeln nur dem Gastroknemius, und zwar nur am Frosch, zukomme. Hr. Budge ist hierin, wie nicht zu leugnen, einen Schritt über Hrn. Matteucci hinausgegangen, der wirklich bei jener Annahme stehen blieb[1]). Er schreibt auch den übrigen Muskeln des Frosches, und unstreitig den Muskeln im Allgemeinen, dergleichen Ströme zu. Seine zweite vorläufige Mittheilung, vom 25. October 1862, sucht diese Behauptung zu begründen am Adductor magnus, Sartorius, Tibialis anticus, den Peronei, dem Biceps, Rectus internus und Semimembranosus des Frosches. Dazu vergleicht er unter einander die beständigen Ablenkungen, die er an seinem Multiplicator mit dem oberen und mit dem unteren Strom der durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Muskeln erhielt.

So will Hr. Budge in 19 Versuchen am Adductor magnus 18 Mal den unteren Strom stärker gefunden haben als den oberen. Die Unterschiede, um die es sich dabei handelt, sind sehr bedeutend. Gewöhnlich gab der untere Strom etwa 70°, der obere nur etwa 50° beständiger Ablenkung. Dies entspricht an einem Sauerwald'schen Multiplicator, wie Hr. Budge ihn benutzt, einem Verhältniss der Stromstärken etwa wie von 2:1. Es kommen aber noch viel grössere Unterschiede in Hrn. Budge's Reihen vor, ja zweimal war der obere Strom am Ad-

1) Die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Berlin 1847. S. 517; — Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 527 ff.; — On Signor Carlo Matteucci's Letter to H. Bence Jones etc. London 1853. p. 15; — Die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851. Berlin 1855. S. 734.

ductor magnus aufsteigend, d. h. er ging vom Querschnitt durch den Bogen zum Längsschnitt. Daraus wird auch hier auf einen aufsteigenden Eigenstrom geschlossen.

Aehnliches wird von den anderen Muskeln berichtet. Besonders häufig hat Hr. Budge vom Tibialis anticus und dem Biceps verkehrte Ausschläge erhalten, d. h. den künstlichen Querschnitt scheinbar positiv gegen den Längsschnitt gefunden. Aufsteigend, wie im Gastroknemius und dem Adductor magnus, soll der Eigenstrom noch im Tibialis anticus sein, absteigend im Biceps. Im Rectus internus wird er als absteigend, im Semimembranosus als aufsteigend bezeichnet, aber wohl nur durch einen Flüchtigkeitsfehler, wie sie bei Hrn. Budge häufig sind[1]), denn aus den mitgetheilten Zahlen würde das Gegentheil folgen. Am Sartorius unterscheidet Hr. Budge drei Fälle. Im einen soll der Eigenstrom aufsteigen, im anderen Null sein, im dritten absteigen.

Hr. Budge behauptet endlich, dass der Strom, den man von den Muskeln beim Auflegen zweier symmetrischen Längsschnittspuncte erhält, stets einerlei Richtung hat mit dem Unterschiede des oberen und unteren Stromes.

Hr. Budge sagt zwar nicht ausdrücklich, stellt sich aber doch wohl vor, dass es die einzelnen Muskelbündel sind, zwischen deren beiden Enden ein elektromotorischer Unterschied herrsche, so dass jedes Bündel gleich einer voltaischen Säule wirke. An sich ist dies nicht so undenkbar. So genügte z. B., um an meine Hypothesen anzuknüpfen, die Annahme, dass innerhalb der Reihen peripolarer Gruppen dipolarer Molekeln einzelne, so zu sagen lose dipolare Molekeln vorkämen, die ihre gleichnamigen Pole nach einerlei Richtung kehrten.

Inzwischen tritt bei jeder solchen Annahme, welche die Bündel als den Sitz eines nach ihrer Axe vertheilten Gegensatzes betrachtet, für Hrn. Budge eine Schwierigkeit ein, an die er nicht gedacht hat, weil er den Bau des Gastroknemius nicht

---

1) Vergl. oben S. 522. — In der zweiten vorläufigen Mittheilung wird zweimal die Achillessehne als positiv gegen die Hauptsehne und der Querschnitt als positiv gegen den Längsschnitt bezechnet.

kennt, oder, wenn er es vorzieht, obschon er diesen Bau sehr genau zu kennen vorgiebt[1]). Bei keiner Annahme der Art gelangt man nämlich dazu, die von Hrn. Budge an diesem Muskel behauptete Positivität höherer Puncte gegen tiefere herzuleiten. Wären die Gastroknemiusfasern an ihrem oberen Ende positiv, an ihrem unteren negativ, so würde der Achillesspiegel, als Inbegriff der unteren Enden, gleichmässig negativ sein, und diese Negativität würde sich am Längsschnitt vom Rande des Spiegels in der Faserrichtung bis zur Hauptsehne und dem Sehnenstreifen an der Tibialfläche abstufen. Mit anderen Worten, die Vertheilung der Spannungen unterschiede sich nicht merklich von der durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten. Ebenso wenig würde ein unterer Querschnitt aus diesem Grunde negativ gegen einen oberen sein. Ein jeder der beiden Gesammtquerschnitte böte von Aussen nach Innen in umgekehrter Ordnung dieselbe Anzahl von Einzelquerschnitten aus derselben Höhe der Fasern dar, d. h. die mittlere Spannung der beiden Querschnitte wäre dieselbe. Hält also Hr. Budge seine Behauptungen am Gastroknemius aufrecht, so wird er auf diese Auffassung seiner angeblichen Ströme verzichten und sich mit der Vorstellung begnügen müssen, dass sie nicht der Richtung der Fasern, sondern der Muskelaxe folgen. Bei dieser Vorstellung scheint es kaum, als ob diese Ströme noch auf eine tiefere Bedeutung Anspruch machen könnten. Die einzige Möglichkeit wäre, dass sie auf die Ausbreitung der Nerven Bezug hätten. Allein am Adductor magnus z. B. liegt der Hilus fast genau in der Mitte des Muskels, und es wäre also nicht zu verstehen, dass zwei gleich weit davon entfernte Querschnitte einen so bedeutenden Unterschied zeigten.

Eine andere Möglichkeit, wie solche Ströme entstehen könnten, hatte ich längst in's Auge gefasst. Ich habe bereits wiederholt angezeigt (s. oben S. 586 Anm. 1.), was ich näher zu begründen noch nicht Zeit fand, dass die lebenden Muskeln einen hohen Grad innerer Polarisirbarkeit besitzen, so dass sie durch

1) Zweite vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 416.

lange anhaltende Ströme von der Ordnung des Muskelstromes im umgekehrten Sinne von dem, in welchem sie durchströmt wurden, stark elektromotorisch wirksam werden. Da die Muskeln *in situ* von ihren eigenen Strömen und den Strömen anderer Muskeln der Länge nach durchflossen sind, so wäre es also ganz gut möglich, dass sie auch unabhängig vom Gesetz des Muskelstromes ihrer Länge nach elektromotorisch wirkten. Bei näherer Prüfung zeigt sich aber auch diese Einsicht unfähig, die Budge'schen Behauptungen zu erklären. Im Vergleich mit dem Gastroknemius und Triceps dürften die übrigen Unter- und Oberschenkelmuskeln, wegen ihres mehr regelmässigen Baues, *in situ* nur schwache Ströme entwickeln. *In situ* wären jene beiden Muskeln also aufsteigend, die übrigen absteigend durchflossen. Danach müssten jene absteigend, diese aufsteigend polarisirt sein. Den Triceps hat Hr. Budge nicht berücksichtigt, dem Gastroknemius, Tibialis anticus, Adductor magnus und Rectus internus aber schreibt er einen aufsteigenden, dem Semimembranosus und Biceps einen absteigenden, dem Sartorius endlich bald keinen, bald einen auf-, bald einen absteigenden Eigenstrom zu; was unseren Schlüssen auf jede Weise zuwiderläuft.

Lässt dagegen Hr. Budge, wozu er sich wohl wird entschliessen müssen, den aufsteigenden Eigenstrom des Gastroknemius fallen, so ist noch die Möglichkeit für ihn da, einen Spannungsunterschied der Enden der einzelnen Bündel zu behaupten. Am Gastroknemius wäre ein solcher, wie gesagt, vom Muskelstrome nicht zu unterscheiden, folglich durch unsere Versuche nicht widerlegt. Alles käme darauf an, wie sich Hrn. Budge's Angaben an den übrigen Muskeln bewähren. In dieser Beziehung steht wenigstens schon fest, dass wenn in den regelmässig gefaserten Muskeln unabhängig von Längs- und Querschnitt Ströme auf- und absteigen, sie neben dem Muskelstrome der Stärke nach nicht in Betracht kommen. Man erinnert sich des oben S. 562 beschriebenen Versuches, worin ein Muskel mit einem senkrechten und einem schrägen Querschnitt aufgelegt fast stets einen Strom im Muskel vom senkrechten zum schrägen Querschnitt zeigt, gleichviel welcher der

beiden Querschnitte der obere und welcher der untere ist. Also der blosse Unterschied in der Muskelstrom-Spannung, der durch die verschiedene Neigung des Querschnittes bedingt ist, würde die jenen Strömen zu Grunde liegende Spannung fast stets überwiegen.

Da nun die letzteren, falls sie überhaupt vorhanden sind, keine bekannte Bedeutung haben, ja nicht einmal eine Vermuhung darüber vorliegt, so begreife ich nicht, weshalb sie das wichtigere Phänomen sein sollen, wie Hr. Budge durchaus will. Der einzige Grund dafür möchte sein, dass Hr. Budge ihr Entdecker wäre. Ich meinerseits könnte mich um so eher darüber trösten, nur den Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt bemerkt zu haben, als ich bei meinen Versuchen über den Muskelstrom noch nicht die hochempfindlichen Instrumente und die vervollkommneten Versuchsweisen besass, mit denen ich seitdem die Physiologen ausgerüstet habe, und als ich, vor eine Welt neuer Thatsachen gestellt, leicht versucht war, über die grossen Umrisse der Erscheinungen feinere Züge zu übersehen. Ich würde also zu entschuldigen sein, jene angeblichen Ströme nicht bemerkt zu haben, selbst wenn sie existirten. Selbst dann wäre der hoffärtige Tadel, den Hr. Budge gegen mich richtet, nicht an seinem Platze. Aber wie erscheint dieser Tadel erst, wenn es sich nun findet, dass jene Ströme, deren Nichtbeachtung mir zu so schwerem Vorwurf gereichen soll, nie wo anders kreisten, als in Hrn. Budge's Phantasie?

Im Laufe meiner Untersuchungen, Vorträge, Demonstrationen habe ich natürlich sehr oft regelmässig gefaserte Oberschenkelmuskeln mit symmetrischen Längsschnittspuncten oder mit zwei künstlichen Querschnitten zwischen die Multiplicatorenden gebracht. Bei meinen ersten Versuchen der Art, bei denen ich mich noch wenig empfindlicher Instrumente bediente, sah ich die Nadel auf Null bleiben, wie mir denn auch anfangs die schwachen Ströme des Längsschnittes entgingen[1]). Später war die Regel, dass ein schwacher Ausschlag erfolgte,

1) Vorläufiger Abriss einer Untersuchung über den Froschstrom u. s. w. Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 5. §. 15.

bald im auf-, bald im absteigenden Sinne. Bei den Versuchen mit zwei künstlichen Querschnitten schrieb ich dies zum Theil dem Umstande zu, dass leicht auf der einen oder der anderen Seite die Kante zwischen Quer- und Längsschnitt sich umlegt und letzterer den Bausch berührt [1]). Bei den Versuchen mit symmetrischen Längsschnittspuncten bemerkte ich, dass nur in seltenen Fällen die gleichartigen Puncte genau symmetrisch zum geometrischen Aequator liegen, so dass der geometrische und der elektromotorische Aequator zusammenfallen. Meist sei der letztere nach der einen oder der anderen Seite verschoben, so dass man, um keine Wirkung zu erhalten, zwei ungleich weit vom geometrischen Aequator gelegene Puncte berühren müsse [2]). Obschon ich somit auf diese Abweichungen ein Auge hatte, fiel mir darin doch kein Gesetz auf, und ich habe auch darüber keine langen Versuchsprotocolle veröffentlicht, weil ich selber ohne dergleichen zur Ueberzeugung gelangt war, dass hier nichts zu holen sei.

Konnte ich aber beim Auflegen zweier Querschnitte keinen regelmässigen Erfolg entdecken, so hatte es auch für mich keinen Sinn, den oberen und unteren Strom unter sich zu vergleichen. Dieser Vergleich kann nur bezwecken, einen Spannungsunterschied der beiden Querschnitte nachzuweisen, indem man den Unterschied zwischen der Spannung eines jeden derselben und der eines Längsschnittspunctes feststellt, als eines dritten Punctes von gleicher Spannung in beiden Versuchen. Derselbe Zweck wird viel einfacher und ganz unmittelbar erreicht, indem man die beiden Querschnitte zum Kreise schliesst. Ich hatte also nicht nur keinen Grund, auch noch auf dem Wege jenes Vergleiches mich davon zu überzeugen, dass es keinen regelmässigen Spannungsunterschied der beiden Querschnitte giebt, sondern sogar einen Grund dagegen, nämlich

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 503. — Hr. Budge lässt an der Stelle, wo er sich auf diese Erklärung bezieht, die Worte: „zum Theil" aus, und legt mir so die Behauptung unter, an die ich nie gedacht habe, dass zwei ohne Umlegen der Kante aufgelegte Querschnitte stets völlig gleichartig sein würden. Erste vorläufige Mittheilung, S. 208.

2) A. a. O. S. 514.

den, dass ich die Schwierigkeiten dieses Unternehmens einsah, von denen sich Hr. Budge nichts träumen lässt. Ganz wie er nichts von dem Einfluss weiss, den die Schräge des Querschnittes auf seine Negativität ausübt, ist ihm auch das Gesetz der Spannweiten fremd geblieben. Er ahnt nicht, dass, beim unverrückten Aufliegen desselben Querschnittes, die blosse Verrückung des Ableitungspunctes am Längsschnitt hinreicht, um eine Veränderung der Stromstärke zu bewirken, die bei Versuchen, gleich den seinigen, die genaueste Berücksichtigung verdient. Ehe wir diese Versuche wiederholen, ist es in der That nöthig, mit den vervollkommneten Hülfsmitteln, über die wir jetzt gebieten, das Gesetz der Spannweiten einer erneuten Prüfung zu unterwerfen.

Ich habe dies Gesetz früher so ausgesprochen, dass mit der Entfernung des Längsschnittspunctes vom abgeleiteten Querschnitt der Strom zuerst wachse, ein Maximum erreiche, wenn jener Punct sich am Aequator befinde, dann aber wieder herabsinke. Auf verschiedenem Wege führte ich den Beweis, dass es nicht blos die Stromstärken, sondern auch die Spannungsunterschiede seien, welche dies Gesetz befolgen [1]). Ich fügte hinzu, dass das Herabsinken vom Maximum in manchen Fällen dem Anschein nach etwas weniger steil vor sich gehe, als das Ansteigen, so dass bei der grössten Spannweite der Strom stärker sei, als bei der kleinsten.

Bei dem jetzigen Stande unserer Kenntniss ist leicht zu sehen, dass das letztere Verhalten jedenfalls nur eine Unregelmässigkeit war, dadurch bedingt, dass der nicht abgeleitete Querschnitt geringere Negativität besass, oder dass nach ihm hin die unwirksame Schicht am Längsschnitt dicker wurde. Bei gleicher Negativität der beiden Querschnitte, und überall gleicher Dicke der unwirksamen Schicht am Längsschnitt, wie auch der an den Querschnitten, muss das Herabsinken des Spannungsunterschiedes vom Maximum mit derselben Steilheit geschehen, wie das Ansteigen: die Curve der Spannungsunterschiede bezogen auf die Spannweiten muss symmetrisch sein.

---

1) **Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 631—633. 695. 696.**

Die Curve der Stromstärken bezogen auf die Spannweite wird dagegen asymmetrisch ausfallen, sobald der Widerstand des Muskels nicht gegen den des Kreises verschwindet. Allein die Abweichung dieser Curve von der Symmetrie wird gerade im entgegengesetzten Sinne von dem stattfinden, in welchem ich sie früher zufällig gesehen hatte. Je grösser der Widerstand des Muskels ist, um so mehr wird die Stromstärke bei kleinster die bei grösster Spannweite übertreffen, und um so näher wird das Maximum dem abgeleiteten Querschnitt rücken.

Bei meinen neueren Versuchen verfuhr ich so, dass, während der eine Querschnitt dem Thonschild eines Zuleitungsgefässes anlag, die Thonspitze einer Zuleitungsröhre folgweise den verschiedenen Puncten des Längsschnittes aufgesetzt wurde. Das Ergebniss dieser Versuche stellt Fig. 21. graphisch dar. Die Abscissenaxe $q'q_{,}$ bedeutet den Längsschnitt zwischen den beiden künstlichen Querschnitten. Die Ordinaten der ausgezogenen Curve sind die Stromstärken bei Ableitung des Stromes vom Querschnitt q', die der gestrichelten Curve die bei Ableitung vom Querschnitt $q_{,}$.

Man sieht, dass die Curven in doppelter Beziehung von dem Verlauf abweichen, den ich ihnen früher zuschrieb, und zwar in dem Sinne, wie dies so eben als nothwendig erkannt wurde. Erstens fällt das Maximum merklich näher dem abgeleiteten, als dem freien Querschnitt. Zweitens ist die Stromstärke bei der grössten Spannweite merklich geringer als bei der kleinsten. Im Einklang mit der Theorie ist dieser Verlauf der Curven um so ausgesprochener, je länger und dünner die Muskeln; am deutlichsten am Rectus internus, auch noch deutlich am Sartorius, nur noch schwer zu erkennen am Adductor magnus, dessen ich mich bei meinen früheren Versuchen vorzugsweise bediente. Hier nähern sich die Curven der Congruenz, indem der Verlauf einer jeden symmetrischer wird, und hier kann es sich am leichtesten ereignen, dass der Einfluss des Widerstandes durch den anderer Umstände übertroffen wird, so dass die grösste Spannweite eine grössere Stromstärke liefert als die kleinste.

Entwirft man, statt an der Bussole die Curven der Strom-

stärken, am Compensator die der Spannungsunterschiede bezogen auf die Spannweite, so zeigen letztere auch an Muskeln von grossem Widerstande einen symmetrischen Verlauf. Am Rectus internus kann der Spannungsunterschied bei grosser Spannweite grösser als bei kleiner sein, während die Stromstärke sich umgekehrt verhält.

Die von der Spannweite abhängigen Schwankungen der Stromstärke können bei dünnen Muskeln über die Hälfte des Maximums betragen; wie ansehnlich auch die der elektromotorischen Kraft sind, sieht man in Tab. III. an den durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Gastroknemien vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht.

Es geht daraus hervor, dass man, um den oberen und unteren Strom unter sich zu vergleichen, wie Hr. Budge beabsichtigte, nicht blindlings verfahren darf, sondern bestimmte Regeln befolgen muss, will man nicht zu ganz falschen Ergebnissen gelangen. Das Beste wird sein, überhaupt von den Stromstärken abzusehen, und nur die elektromotorischen Kräfte zwischen den beiden Querschnitten einerseits, andererseits einem bestimmten Längsschnittspuncte zu messen. Verschwindet indess der Widerstand des Muskels gegen den des Kreises, so kann man ebenso mit den Stromstärken verfahren. Kommt jener Widerstand neben dem des Kreises in Betracht, und ist der Muskel überall gleich dick, so muss man in beiden Versuchen einen Längsschnittspunct von gleicher Spannung, und in gleicher Entfernung vom abgeleiteten Querschnitt gelegen, mit diesem zum Kreise schliessen. Je zwei symmetrische Längsschnittspuncte genügen dieser Bedingung, am einfachsten der Aequator. Ist aber der Muskel nicht überall gleich dick, so ist die Frage nach der verschiedenen Negativität der beiden Querschnitte durch den Vergleich des oberen und unteren Stromes gar nicht zu entscheiden, es sei denn, dass man, bei demselben Verfahren wie am überall gleich dicken Muskel, von dem dickeren Abschnitt einen schwächeren Strom erhielte, als von dem dünneren.

Jetzt wollen wir zur thatsächlichen Prüfung der Budge-schen Behauptungen schreiten. Sie laufen, wie gesagt, dar-

auf hinaus, dass im Muskel, wie in einer voltaischen Säule, ein elektrischer Gegensatz so vertheilt sei, dass jeder höhere Querschnitt z. B. sich positiv verhält gegen jeden tieferen. Ausserdem erkennt Hr. Budge im Muskel nur noch den Gegensatz von Längsschnitt und künstlichem Querschnitt an; er leugnet die Bedeutung der sehnigen Enden als natürlicher Querschnitte, mithin deren Gleichartigkeit und Negativität gegen den Längsschnitt. Danach dürfen am unversehrten Muskel keine anderen Wirkungen stattfinden, als die des angeblichen Gegensatzes seiner Enden, und man muss also nach Hrn. Budge 1. zwischen diesen Enden stets den Strom in derselben, durch jenen Gegensatz gebotenen Richtung finden, in unserem Beispiel also aufsteigend. Eben so muss man 2. zwischen zwei beliebigen Längsschnittspuncten, und 3. zwischen einem solchen Puncte und den beiden sehnigen Enden einen Strom in der nämlichen Richtung finden. 4. Liegt der Muskel mit zwei künstlichen Querschnitten auf, so muss der Erfolg derselbe sein. 5. Liegt der durch zwei künstliche Querschnitte begrenzte Muskel mit zwei beliebigen Längsschnittspuncten auf, so muss auch noch stets ein Strom in derselben Richtung erscheinen, der sich bei asymmetrischer Lage der Puncte zum schwachen Strome des Längsschnittes algebraisch hinzufügt. Endlich 6. muss ebenso der Muskelstrom vom Längs- zum Querschnitt selber, bei Berücksichtigung des Gesetzes der Spannweiten, stärker erscheinen, wenn er mit dem angeblichen Eigenstrom gleiche, als wenn er die umgekehrte Richtung hat, in unserem Beispiel also bei Ableitung vom unteren Querschnitt, wo er aufsteigt, stärker als bei Ableitung vom oberen, wo er absteigt. In allen diesen Fällen muss die Eigenstrom-Spannung um so grösser sein, je grösser der Abstand der Ableitungspuncte.

Dies ist die Reihe von Versuchen, die Hr. Budge zum Erweise seiner Lehre an regelmässig gefaserten Muskeln hätte durchmachen müssen. Statt dessen hat er, wie wir sahen, nur die unter 6. erwähnte Prüfung, und zwar ohne Berücksichtigung der Spannweite angestellt, und sonst nur obenhin erwähnt, dass die Muskeln mit symmetrischen Längs-

schnittspuncten im Sinne des Unterschiedes zwischen oberem und unterem Strome gewirkt hätten.

Wir wollen jetzt etwas gründlicher verfahren. Die Ergebnisse meiner Versuche an regelmässig gefaserten Muskeln sind am Schluss in den Tab. IV.—X. enthalten. Jede dieser Tabellen, bis auf die achte, stellt eine Versuchsreihe an den Recti interni, Sartorii, Adductores magni und Semimembranosi von fünf Fröschen vor. In Tab. X., welche zum Theil schon besprochen wurde, erstrecken sich die Messungen auch noch über den Triceps und den Gastroknemius derselben Thiere. So ist jede Willkür in der Auswahl der Fälle ausgeschlossen. Nur wo dem Semimembranosus das obere sehnige Ende erhalten bleiben musste, ist der Versuch zuweilen nur am Muskel der einen Seite angestellt, oder es ist ein Muskel von einem anderen Frosch zu Hülfe genommen, weil es nicht immer gelingt, die Semimembranosi desselben Frosches so von einander zu trennen, dass beide unversehrt sind.

Die Vorzeichen in den Tabellen und die Zahlen in Tab. X. haben die frühere Bedeutung. In den anderen Tabellen sind die Zahlen den Stromstärken proportionale Ablenkungen in Scalentheilen, abgelesen an der Wiedemann'schen Bussole mit 12000 Windungen, bei 0 Mm. Abstand der Rollen und 2300 Mm. Abstand der Scale vom Spiegel, aber ohne Hauy'sche Compensation.

Jede Zahl ist das Ergebniss einer einzigen Ablesung, welche vorgenommen wurde, nachdem die Bedingungen des Versuches möglichst rein hergestellt waren (s. oben S. 546). Verfährt man so mehrmals nach einander, so erhält man gleichwohl, namentlich wo der künstliche Querschnitt in's Spiel kommt, nicht zweimal dieselbe Zahl, sondern oft ansehnlich verschiedene Werthe, wo nach dem Gesetz keine Wirkung stattfinden sollte, auch wohl von verschiedenem Zeichen. Man müsste also eigentlich aus einer hinreichenden Anzahl solcher Bestimmungen das Mittel ziehen. Dies hätte zuviel Zeit gekostet in Versuchsreihen, wo, wie in Tab. IV., schon an jedem Muskel 12, mithin an jedem Frosch 96 Versuche anzustellen waren. Unsere Zahlen sind sonach mit jenen Schwankungen

behaftet. Man darf indess annehmen, dass deren Einfluss sich auch bei hinlänglicher Vervielfältigung einzelner Versuche an verschiedenen Muskeln ausgleiche, wie die Tabellen sie darbieten, wobei zugleich die etwaigen Unterschiede im Verhalten der einzelnen Muskeln sich aufheben: da kein Grund ist, weshalb alle Muskeln, bei einer einzigen Prüfung, eine im nämlichen Sinne vom Mittel abweichende Zahl liefern sollten.

Um uns kurz zu verständigen, nennen wir den mit natürlichem Querschnitt gewonnenen Strom den natürlichen, den mit dem künstlichen Querschnitt den künstlichen Strom. Der obere natürliche Strom ist also z. B. der zwischen oberem sehnigen Ende, der untere künstliche Strom der zwischen unterem künstlichen Querschnitt einerseits, andererseits dem Längsschnitt kreisende Strom. Vor einer Verwechselung des so gebrauchten Ausdruckes „natürlicher Strom“ mit demselben Ausdruck in Hrn. Budge's Sinne braucht wohl kaum gewarnt zu werden. Hrn. Budge's angeblichen „natürlichen“ Strom, der ohne Bezug auf Längs- und Querschnitt sein soll, nennen wir, was sein ursprünglicher Name ist, ja vielmehr Eigenstrom.

Tab. IV. stellt eine Versuchsreihe dar, wobei an jedem Muskel die sechs oben aufgezählten Folgerungen aus Herrn Budge's Lehre zur Prüfung kamen. Sie zerfällt der Länge nach in zwei Abtheilungen. Die erste Abtheilung bezieht sich auf den ganz unversehrten Muskel. Gewisse weitere, denselben betreffende Fragen sind in Tab. V. beantwortet. Die zweite Abtheilung von Tab. IV. bezieht sich auf den durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskel. Weiter erläutert findet sich dessen Verhalten in den Tab. VI.—X.

I. also sollte sich, nach Hrn. Budge, an jedem Muskel zwischen seinen sehnigen Enden ein Strom in beständiger Richtung zeigen. An sich wäre hiergegen, vom Standpuncte unseres Gesetzes, nichts einzuwenden. Ein solches Verhalten würde zu seiner Erklärung nur eine beständige Gestaltverschiedenheit der beiden Enden voraussetzen, wodurch die Ableitung von elektromotorisch nicht entsprechenden Puncten geschähe. Ich selber

habe früher, auf Grund meiner ersten, noch minder vollkommenen und zahlreichen Versuche, jenes Verhalten angenommen[1]). In Uebereinstimmung mit meinen späteren Angaben[2]) lehrt aber jetzt die erste Spalte der IV., V. und VI. Tabelle, dass dasselbe unter den vier in Rede stehenden Muskeln allein am Semimembranosus, allenfalls dem Sartorius, mit einiger Sicherheit nachweisbar ist. Auf 26 Mal wirkte zwischen sehnigen Enden der Semimembranosus 24, auf 30 Mal der Sartorius 24, der Rectus internus 18 Mal absteigend, der Adductor magnus 17 Mal aufsteigend. Oft wirkt von den gleichnamigen Muskeln desselben Frosches der eine auf-, der andere absteigend. Spricht sich schon hierin keine durchgreifende Gesetzlichkeit aus, so vermisst man eine solche erst recht, wenn man die Grösse der Wirkungen in Betracht zieht. Nicht blos schwankt diese zwischen weiten Grenzen, sondern sie tritt auch meist bedeutend zurück gegen die der Ablenkungen, welche man mit dem natürlichen Strom vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht, noch mehr gegen die, welche man damit nach Zerstörung der Schicht, oder mit dem künstlichen Strome erhält.

Eine solche Unregelmässigkeit und Schwäche der Wirkungen ist unverträglich mit der Bedeutung, die Hr. Budge ihnen beilegt. Uns erwächst daraus keine Verlegenheit, selbst wenn wir bei der obigen Erklärung jener Wirkungen stehen bleiben. Denn da eine geringe Verrückung der Ableitungspuncte danach hinreicht, die Stromrichtung umzukehren, so wird die Unbeständigkeit der Ströme fast zur nothwendigen Folge[3]). Wir können aber jetzt, zur Deutung derselben Ströme, auch noch an verschiedene Parelektronomie der beiden Muskelenden denken, wobei vollends keine Beständigkeit zu erwarten wäre; und der Versuch wird diese Vermuthung bestätigen.

II. sollte, nach Hrn. Budge, an jedem Muskel der

1) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 3. 10. §. 9. 26. 27.

2) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 497.

3) A. a. O. Bd. I. S. 506 ff.

Strom zwischen beliebigen Längsschnittspuncten dieselbe Richtung zeigen, wie zwischen den sehnigen Enden. Die zweite Spalte der IV. und V. Tabelle enthält die Ablenkungen beim Aufliegen zweier symmetrischen Längsschnittspuncte, die vom Aequator um ein Viertel der Muskellänge abstanden. Auf 20 Mal haben sie am Rectus internus 6, am Sartorius 9, am Adductor magnus 6, am Semimembranosus 11 Mal, auf 80 Mal also im Ganzen nur 32 Mal die umgekehrte Richtung von der zwischen den sehnigen Enden. Hier scheint also, was die Richtung der Ströme betrifft, etwas der Budge'schen Anschauung Entsprechendes beim ersten Blick wirklich stattzufinden. Was die Stärke betrifft, so sind die Ablenkungen bald kleiner, bald, was sie nach Hrn. Budge nicht sollten, in dem Maasse grösser als die zwischen sehnigen Enden, dass dies nicht blos dem geringeren Widerstande zuzuschreiben ist. Auch im letzteren Falle bleiben sie übrigens meist weit unter den mit Querschnitt erhaltenen Wirkungen

In der dritten Spalte derselben Tabellen entspricht jedem Muskel eine obere und eine untere Zahl. Jene wurde abgelesen, als bei unveränderter Spannweite der obere Ableitungspunct dem oberen, diese, als der untere dem unteren Ende möglichst genähert war. Nach Hrn. Budge sollten beide Zahlen stets das gleiche Vorzeichen mit der Zahl der ersten und zweiten Spalte haben, und dies für jeden Muskel stets das nämliche sein. Hrn. Budge's Voraussetzung findet sich nur am Rectus internus öfter, nämlich 13 Mal auf 20, insofern erfüllt, als die vier Zahlen dasselbe Vorzeichen haben; doch ist dies 7 Mal das positive, 6 Mal das negative. Am Sartorius kommt dasselbe Verhalten nur 5, am Semimembranosus 3, am Adductor magnus 2 Mal auf 20, auf 80 Mal also im Ganzen nur 23 Mal vor.

Nach dem Gesetz des Muskelstromes sollte die obere Zahl in der dritten Spalte stets negativ, die untere stets positiv sein. Am Adductor magnus, und ebenso am Semimembranosus, trifft dies 17 auf 20 Mal, also sehr regelmässig, zu. Minder günstig ist der Erfolg am Rectus internus, wo

nur 3, und am Sartorius, wo nur 9 Mal die Vertheilung der Zeichen die erwartete ist; sie ist es auf 80 Mal im Ganzen nur 46 Mal. Man wird aber sehen, dass hieraus so wenig etwas wider das Gesetz des Muskelstromes folgt, als aus dem zuerst erwähnten, scheinbar Hrn. Budge günstigen Zusammentreffen etwas für dessen Lehre.

III. sollte, nach Hrn. Budge, zwischen einem beliebigen Längsschnittspuncte und den beiden sehnigen Enden ein Strom auch noch immer in der nämlichen Richtung erfolgen, wie zwischen den sehnigen Enden, symmetrischen und asymmetrischen Längsschnittspuncten. Mit anderen Worten, der obere und untere natürliche Strom sollen unter sich und mit den Strömen zwischen diesen Puncten einerlei Richtung haben. Dieser Satz leugnet unmittelbar die Negativität der sehnigen Enden gegen den Längsschnitt, und ihr Verhalten als natürliche Querschnitte. Was daran ist, zeigt die vierte Spalte der IV. und V. Tabelle, in der die obere Zahl jetzt die mit dem oberen, die untere die mit dem unteren natürlichen Strom erhaltene Ablenkung ist. Der Längsschnittspunct war der Aequator. Nach dem Gesetz muss die obere Zahl wieder negativ, die untere positiv sein. Auf 20 Mal zeigen sich hiervon am Adductor magnus keine einzige, am Semimembranosus 2, am Rectus internus 5, am Sartorius 8, auf 80 Mal also im Ganzen nur 15 Ausnahmen. Dem Gesetz nach sollen die Ablenkungen jetzt grösser sein, als da statt des natürlichen Querschnittes ein diesem naher Längsschnittspunct auflag. Betrachtet man, wie man darf, das Abnehmen einer negativen Wirkung als gleichwerthig mit dem Wachsen einer positiven, so bieten unsere Tabellen von diesem Satze auf 20 Versuche am Adductor magnus keine einzige, am Rectus internus 4, am Sartorius 6, am Semimembranosus 9, auf 80 Mal also im Ganzen 19 Ausnahmen. An den beiden letzteren Muskeln betreffen diese Ausnahmen fast alle das untere Ende, und erklären sich leicht aus dessen abweichendem Bau. Ein dem unteren Ende naher Punct ist hier kein reiner Längsschnitt, und ebenso wenig ist das Ende selber der

natürliche Querschnitt sämmtlicher Bündel. Der bandförmige Sartorius ist unten durch seinen natürlichen Querschnitt schräg abgeschnitten, so dass an seinem äusseren Rande seine Fasern fast um ein Drittel länger sind, als an seinem inneren. Der Semimembranosus setzt in einem grossen Theil seiner Länge von unten nach oben neue Fleischbündel an, die von den beiden Seiten eines an seinem äusseren Umfange emporsteigenden Sehnenstreifens entspringen. Er ist also im Grunde ein doppeltgefiederter Muskel, nur dass die in ungleicher Höhe entsprungenen Bündel sämmtlich bis zu seinem oberen Ende reichen, daher er oben viel dicker ist als unten. Es würde uns an dieser Stelle zu weit führen, die Folgen zu erörtern und in der Wirklichkeit nachzuweisen, welche nach der Theorie der Neigungsströme diese Anordnungen am unteren Ende des Sartorius und Semimembranosus haben müssten. Hier genügt die Einsicht, dass jedenfalls an diesem Ende, im Vergleich mit einem regelmässig gebauten, der Spannungsunterschied zwischen dem Aequator und einem dem Ende nahen Puncte nur wenig wachsen kann, wenn letzterer mit dem Ende selber vertauscht wird. Da aber der Sartorius mit seiner unteren spitzen Sehne, der Semimembranosus mit seinem knorpeligen Hufeisen aufgelegt einen ansehnlich grösseren Widerstand haben, als mit einem dem unteren Ende nahen Punct, so versteht man, wie zuweilen, statt einer Verstärkung, eine Schwächung des Stromes die Folge dieser Veränderung sei.

Dass nach dem Allen von Hrn. Budge's Deutung der Ströme am unversehrten Muskel die Rede nicht sein könne, ist klar. Es fragt sich aber, wie sich von unserem Standpuncte jene 15 Fälle auf 80 rechtfertigen lassen, in denen der untere natürliche Strom nicht auf-, oder der obere nicht absteigt, so wie die auch nicht ganz seltenen, wo der eine dieser Ströme Null ist.

Zuerst ist ein Bezug aufzudecken, der sich zwischen den Zahlen der ersten und denen der vierten Spalte kundgiebt. Die beiden Zahlen der vierten Spalte, die gleich und entgegengesetzt sein sollten, sind stets mehr oder weniger un-

gleich; häufig mehr und in einem anderen Sinne, als es, bei gleicher Negativität der beiden natürlichen Querschnitte, wegen verschiedenen Widerstandes der oberen und unteren Muskelhälfte der Fall sein könnte. Die Zahl der ersten Spalte aber hat fast ausnahmslos, 76 Mal auf 80, dasselbe Vorzeichen, wie die grössere jener beiden Zahlen. Die beiden natürlichen Querschnitte sind also sichtlich verschieden negativ gegen den Längsschnitt, und demgemäss ist auch der minder negative positiv gegen den negativeren. Es ist denn auch nicht etwa stets das nämliche Ende des Muskels das negativere, sondern die Fälle, wo das obere und die, wo das untere vorwiegt, sind fast genau ebenso vertheilt, wie die Vorzeichen in der ersten Spalte (s. oben S. 675).

Man könnte diese Erscheinung einfach auf eine Gestaltverschiedenheit der beiden Enden deuten. Es kann aber auch, wie schon bemerkt, jetzt an verschiedene Parelektronomie dieser Enden gedacht werden. Diese Meinung lässt sich dadurch prüfen, dass man die Muskeln einem entwikkelnden Bade unterwirft. Setzt man gleiche Gestalt der beiden Querschnitte voraus, so nähert sich durch die Zerstörung der parelektronomischen Schicht die Negativität der beiden Querschnitte derselben Grenze, nämlich der Negativität eines gleich schrägen künstlichen Querschnittes. Es muss also der minder negative Querschnitt dabei mehr an Negativität zunehmen, als der von Hause aus negativere.

Um dies zu erproben, tauchte ich die Muskeln, welche zu den Versuchen in den vier ersten Spalten der fünften Tabelle gedient hatten, 5'' lang in gesättigte Kochsalzlösung, spülte sie mit Wasser ab, und trocknete sie zwischen Fliesspapier. Die 5. Spalte der Tabelle zeigt die durch den oberen und unteren natürlichen Strom nach dem Bade erhaltenen Wirkungen, die 6. den Unterschied zwischen den zusammengehörigen Zahlen der 4. und 5. Spalte, d. h. die durch das Bad bewirkte Veränderung.

Bei Betrachtung dieser Zahlen kann es auffallen, dass die Folge des Bades nicht stets eine Verstärkung des natürlichen Stromes der beiden Enden ist. Auf 10 Mal 3 Mal am Rec-

tus internus, 4 Mal am Sartorius, 1 Mal am Adductor magnus, 4 Mal am Semimembranosus, im Ganzen 12 Mal auf 40, wurde der Strom des einen Endes geschwächt, statt verstärkt. Um dies zu verstehen, muss man sich erinnern, dass auf die entwickelnde Wirkung, welche die Aetzmittel durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht ausüben, eine schwächende Wirkung folgt. Die Negativität des natürlichen Querschnittes gegen den Längsschnitt steigt unter dem Einfluss der Kochsalzlösung schnell an, erreicht ein Maximum, und sinkt dann ziemlich rasch wieder herab; wenn vor der Benetzung nur geringe Parelektronomie bestand, leicht bis zu einem Werthe unterhalb der ursprünglichen Negativität. Es ist daher etwas ganz anderes, ob man den Sehnenspiegel eines im Kreise befindlichen Muskels mit Kochsalzlösung benetzt, oder ob man so verfährt, wie es hier geboten war. Dort kann sich, bei richtiger Leitung des Versuches, die vorübergehende Stromverstärkung der Beobachtung kaum entziehen. Hier dagegen war das Maximum der Stromstärke schon vorüber, ehe der Muskel zur Prüfung gelangte, und bei geringer Parelektronomie des betreffenden Muskelendes wurde die Stromstärke um so leichter bereits unter ihrem ursprünglichen Werthe angetroffen, als die von der Lösung durchdrungene Schicht am Längsschnitt eine schwächende Nebenschliessung bildet. Zu dieser Zeit aber kann der Strom eines ursprünglich stark parelektronomischen Muskelendes noch bedeutend verstärkt sein. Diese Erklärung setzt, wie man sieht, voraus, dass die Schwächung durch das Kochsalzbad ausschliesslich oder vorzugsweise am ursprünglich negativeren Ende vorkomme; und wirklich trifft dies unter jenen 12 Malen 9 Mal zu. Die Fälle dieser Art bestätigen also vielmehr schon unsere Vorhersage, insofern als die Abnahme des Stromes durch das Bad einer geringeren Zunahme gleichzusetzen ist.

Danach zeigt sich auf 10 Mal am Rectus internus 8, am Sartorius 10, am Adductor magnus 8 Mal, auf 30 Mal also im Ganzen 26 Mal das erwartete Verhalten, eine Regelmässigkeit, wie sie gewiss nicht grösser zu verlangen ist,

wo zarte Muskeln einem so heftigen Eingriff preisgegeben werden.

Es beruht daher wohl auf besonderen Umständen, dass am Semimembranosus nur 4 Mal auf 10 unsere Regel sich bewährt. Hier ist auf 20 Mal der untere natürliche Strom 16 Mal der schwächere. Zum Theil rührt dies vom grösseren Widerstande des unteren Endes her. Da aber der oben S. 679. 680 gegebenen Regel gemäss der Muskel zwischen sehnigen Enden fast stets absteigend wirkt, so ist das untere Ende wirklich meist das positivere, und bleibt es auch nach dem entwickelnden Bade. Dies hat seinen Grund unstreitig in dem oben S. 679 besprochenen Bau des unteren Endes, der entfernt an den des oberen Endes am Gastroknemius erinnert. Entweder ist am Semimembranosus das untere Ende bei gleicher Parelektronomie wegen seines verschiedenen Baues minder negativ als das obere; oder es ist für gewöhnlich parelektronomischer, und der Entwickelung weniger zugänglich: wie es denn sinnlos wäre, zu erwarten, dass ein Kochsalzbad das obere Ende des Gastroknemius negativer mache.

Ist unsere Auffassung die richtige, so muss man nach dem Bade von den mit den beiden sehnigen Enden aufgelegten Muskeln Wirkungen erhalten, die sich ebenso aus der veränderten Negativität jener Enden herleiten lassen, wie die Wirkungen vor dem Bade aus der ursprünglichen Negativität der Enden. Das Ergebniss dieser Versuche findet sich in der 7. Spalte der Tabelle. Es fällt auf 10 Mal am Rectus internus 9, am Sartorius 8, am Adductor magnus 4, am Semimembranosus 8 Mal, im Ganzen auf 40 Mal 29 Mal, unseren Schlüssen günstig aus. Mit der Abnahme des Unterschiedes zwischen oberem und unterem Strome nimmt auch der Strom zwischen den sehnigen Enden ab, mit der Umkehr seines Zeichens kehrt er sich um, u. s. w.

Wir dürfen es also als ausgemacht ansehen, dass eine wesentliche Ursache des Stromes zwischen sehnigen Enden, und des Unterschiedes zwischen oberem und unterem natürlichen Strom, soweit dieser Unterschied nicht vom Wider-

stande herrührt, in der verschiedenen Parelektronomie der beiden Enden zu suchen ist.

Dies sind beiläufig die Erfahrungen, auf die oben S. 613 hingewiesen wurde, um die verschiedene Parelektronomie der beiden Enden der Gastroknemiusbündel annehmbar zu machen.

In den Strömen zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten darf man jetzt eine Componente vermuthen, welche, als ein Zweig des in der geschwächten oder unwirksamen Schicht kreisenden Stromes, von dem positiveren Ende durch den Bogen nach dem negativeren fliesst. Sind die beiden Enden ungleich parelektronomisch, so ist das von Hrn. Budge behauptete Verhalten, anstatt gegen das Gesetz zu streiten, vielmehr ganz in der Ordnung. In den 48 Fällen auf 80, in welchen der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten mit dem zwischen sehnigen Enden gleiche Richtung zeigte (s. oben S. 677), können wir eine Andeutung dieses gesetzmässigen Verhaltens sehen.

Umstände, welche dasselbe oft verdecken, lassen sich mindestens zwei denken. Verjüngt sich bei gleicher Negativität der Querschnitte die unwirksame Schicht am Umfange des Muskels vom Ende *A* nach dem *B* hin, so muss in einem, symmetrischen Längsschnittspuncten angelegten Bogen ein Strom von *B* nach *A* kreisen. Aehnliches kann hier stattfinden, da dann dieser Strom sich mit dem Strome wegen ungleicher Negativität der beiden Querschnitte algebraisch summirt. Zweitens wäre es wohl wunderbar, wenn alle Querscheiben des Muskels, und alle Elemente einer Querscheibe, gleich stark elektromotorisch wirkten. Giebt es aber hierin Unterschiede, so ist ein zureichender Grund für die mannigfaltigsten Störungen vorhanden; gerade wie dergleichen an einem Magnetstabe durch ungleiche Coërcitivkraft des Stahles oder durch Fehler beim Streichen entstehen.

Aus demselben Gesichtspuncte sind vorläufig die Fälle zu beurtheilen, wo zwischen einem dem Aequator und einem dem sehnigen Ende benachbarten Puncte der Strom die falsche Richtung zeigt, während er mit dem Ende selber im

richtigen Sinne erscheint. Fremdartiger und, wie schon bemerkt, unserer ganzen Aufmerksamkeit werth sind die Fälle, wo zwischen dem Längsschnitt und dem sehnigen Ende selber der natürliche Strom verkehrt ist, d. h. wo sich letzteres gegen ersteren positiv verhält.

Ich habe, ausser den in der Tabelle verzeichneten Beispielen, noch viele andere von demselben Verhalten beobachtet. Meist betrafen sie, wie die in der Tabelle, das untere Ende des Rectus internus und des Sartorius. Doch habe ich auch das obere Ende gesetzwidrig elektromotorisch gefunden; ja es kommt vor, dass beide Enden positiv, statt negativ, gegen den Längsschnitt sind. Sartorius III. *A.* in Tab. IV. bietet ein Beispiel hiervon; ein anderes ist folgendes: Zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten gab ein Sartorius + 5, zwischen einem dem Aequator und einem dem oberen Ende benachbarten Puncte + 40, zwischen dem Aequator und einem dem unteren Ende benachbarten − 13 Sc. Ablenkung. Das obere Ende selbst mit dem Längsschnitt zusammen gab + 19, das untere − 15 Sc. In diesen, allerdings sehr seltenen Fällen ist also eine völlige Umkehr des gesetzlichen Verhaltens des unversehrten Muskels eingetreten.

Das Dasein solcher Fälle macht es an sich schon wahrscheinlich, dass, wenn das ungesetzliche Verhalten auf das eine Ende beschränkt bleibt, dies nicht daher rührt, dass ein der Muskelaxe entlang fliessender Eigenstrom den natürlichen Muskelstrom überwiegt, sondern einfach daher, dass das betreffende Ende so stark parelektronomisch ist, dass es sich positiv, statt negativ, gegen den Längsschnitt verhält. Dies wird dadurch bestätigt, dass mit seltenen Ausnahmen ein entwickelndes Bad hinreicht, um beiden Enden im Nu das gesetzmässige Verhalten zu ertheilen. Die Tab. V. zeigt dies für den Fall nur eines positiven Endes. In dem eben angeführten Fall am Sartorius, wo beide Enden positiv waren, erhielt ich nach dem Bade mit dem oberen Ende − 79, mit dem unteren + 114 Sc.

Wir sind so zu einer an sich werthvollen Erweiterung unserer Kenntniss des parelektronomischen Zustandes gelangt.

Eine solche Parelektronomie, dass das gesetzmässige Verhalten des natürlichen Querschnittes dabei umgekehrt wird, war mir am Gastroknemius, an dem ich die Parelektronomie bisher vorzüglich studirt hatte, nur nach Einwirkung höherer Kältegrade vorgekommen[1]). Jetzt zeigt es sich, dass auch ohne nachweisbare Ursache, insbesondere ohne Kälte — die obigen Versuche wurden im August angestellt — an einem oder auch an beiden Enden des Muskels zuweilen jener merkwürdige Zustand angetroffen wird.

Es haben sich bei dieser Gelegenheit noch mehrere Umstände ergeben, die auf die Beschaffenheit des natürlichen Querschnittes weiteres Licht zu werfen versprechen. Es kommt zuweilen, wenn gleich äusserst selten, vor, dass das oberflächliche Anätzen des natürlichen Querschnittes durch eine entwickelnde Flüssigkeit dem Querschnitt seine gesetzmässige Negativität nicht ertheilt. Erst das Messer legt einen gegen den Längsschnitt stark negativen Querschnitt blos. Ein einziges Mal habe ich aber auch gesehen, dass ein dem oberen sehnigen Ende des Rectus internus sehr nahe angelegter Schnitt sich schwach positiv, statt negativ, gegen den Längsschnitt verhielt. Sehr regelmässig findet man hingegen, wenn man die sehnigen Enden dieses Muskels oder des Sartorius in dünnen Scheiben abträgt, und jedesmal die Negativität des Querschnittes gegen den Längsschnitt prüft, dass diese Negativität zuerst ansehnlich kleiner ausfällt, als nachdem man ein Stück von mehreren Millimetern Länge entfernt hat. Ein Querschnitt aus der mittleren Gegend der Muskeln ist fast stets negativ gegen einen Querschnitt in unmittelbarer Nähe eines sehnigen Endes. An den dickeren Muskeln, dem Adductor magnus und Semimembranosus, fand ich nur eine Andeutung desselben Verhaltens. Man kann aber hier nicht, wie an den dünneren Muskeln, einen Schnitt führen, der sämmtliche Bündel in gleichem und möglichst kleinem Abstand von ihrem Ende trifft.

---

1) Monatsberichte der Berliner Akademie. 1851. S. 392; — Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 38.

In meinen „Untersuchungen“ habe ich gezeigt, wie sich sämmtliche Erscheinungen der Parelektronomie durch die Annahme erklären, dass auf einen Theil der Längsreihen peripolarer Gruppen, woraus der Muskel besteht, eine ihren positiven Pol in's Freie kehrende dipolare Molekel aufgesetzt ist[1]). Diese Annahme haben wir, um sie den Neigungsströmen anzupassen, oben S. 606 dahin abgeändert, dass ein Theil der die Grenzschicht bildenden dipolaren Molekeln um 180° gedreht sei. Der Sinn hiervon ist aber natürlich nur[2]), dass schon eine solche Annahme hinreicht, um die Parelektronomie zu verstehen. Indem sie zeigt, wie eine Schicht von verschwindender Dicke der ganzen übrigen Muskelmasse elektromotorisch das Gleichgewicht hält, ja sie überwiegt, macht sie begreiflich, wie der oberflächlichste Angriff dem natürlichen Querschnitt die ihm zukommende Negativität ertheilt. Deshalb ist aber die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die veränderte Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile, auf der die Parelektronomie beruht, sich, elektromotorisch mit dem gleichen Erfolg, über eine Strecke des Muskels von merklicher Länge ausdehne. Dies scheint nun bei den sehnigen Enden der langen und dünnen Oberschenkelmuskeln, des Rectus internus und Sartorius, wirklich der Fall zu sein. Die Parelektronomie dieser Enden ist nicht, gleich der des Achillesspiegels, einer Schicht von unfassbarer Dicke zuzuschreiben, sondern einer Strecke von oft mehreren Millimetern Länge. Erst nachdem diese abgetragen ist, zeigt der Querschnitt seine volle Negativität.

Die einfachste Annahme hinsichtlich der Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile in der parelektronomischen Strecke, wie es jetzt heissen muss, ist, dass darin lose dipolare Molekeln, den positiven Pol dem nahen Ende des Muskels zugekehrt, liegen. Ist diese Annahme richtig, so muss in dem Falle, wo nach Abschneiden des sehnigen Endes der künstliche Querschnitt des Muskels sich positiv ge-

---

1) A. a. O. S. 89. 90; — Monatsberichte u. s. w. A. a. O. S. 393. 394.
2) Untersuchungen u. s. w. A. a. O. S. 91.

gen den Längsschnitt verhält, der künstliche Querschnitt des abgeschnittenen Endes sich negativ gegen den Längsschnitt und den natürlichen Querschnitt verhalten. Leider ist in dem einzigen Falle der Art, der mir begegnete, die Untersuchung hierauf missglückt, weil das abgeschnittene Ende zu kurz und keine Zuleitungsröhre mit Thonspitze in Bereitschaft war. Seitdem habe ich Hunderte von Sartorii und Recti interni, auch von erkälteten, ja von erfrorenen Fröschen, vergeblich darauf geprüft, ob ein hart am sehnigen Ende angelegter Querschnitt sich positiv verhalte; jene Gelegenheit ist nicht wiedergekehrt.

Bei meinen früheren Auseinandersetzungen über die parelektronomische Strecke war ich ausser Stande, die elektromotorische Eigenthümlichkeit der Enden der Muskelbündel mit einem anatomischen Verhalten auch nur vermuthungsweise in Zusammenhang zu bringen. Jetzt liegt es nahe, sich hier zu erinnern, dass nach Hrn. Kühne dieselben Strekken des Sartorius, die wir als parelektronomisch zu bezeichnen Grund fanden, nervenlos sind[1]). Man könnte sich denken, dass am Ende der kurzen und energischen Gastroknemiusbündel die nervenlosen Strecken kürzer ausfallen, und dass deshalb auch die parelektronomische Strecke daran zur blossen Schicht wird. Freilich fehlt es noch an einer Vorstellung, wie Nervenlosigkeit Parelektronomie bedinge, und man kann die anatomische Grundlage der letzteren auch einfach darin sehen, dass am Ende des Muskelbündels die contractile Substanz aufhört. Man kann sich z. B. recht gut denken, dass gewisse Vorgänge, die sich bei der Verkürzung von den gereizten Stellen aus im Bündel fortpflanzen[2]), in dessen Verlaufe keine Spur hinterlassen, weil in jeder Querscheibe die Störung auf Kosten der folgenden Scheibe sich ausgleicht, dass aber am Ende des Bündels eine ver-

1) Dieses Archiv, 1859. S. 568.

2) Aeby, Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in der quergestreiften Muskelfaser. Braunschweig 1862. S. 69 ff.

änderte Anordnung hinterbleibt, weil hier die Möglichkeit jener Ausgleichung abgeschnitten ist.

Wie dem auch sei, es wird nicht leicht mehr ein Zweifel darüber obwalten, dass mit Berücksichtigung der Parelektronomie das elektromotorische Verhalten des natürlichen Querschnittes mit dem des künstlichen übereinstimmt, wie es das Gesetz des Muskelstromes verlangt.

IV. sollte, nach Hrn Budge, der mit zwei künstlichen Querschnitten aufliegende Muskel den Strom auch noch stets in dem Sinne geben, wie zwischen den sehnigen Enden u. s. w.

Nachdem gezeigt ist, dass die elektromotorischen Wirkungen am unversehrten Muskel wesentlich von der Parelektronomie seiner sehnigen Enden abhängen, bedarf dieser Satz im Grunde keiner Widerlegung mehr, und dasselbe gilt von den beiden noch übrigen Sätzen, insofern darin gleichfalls nach Entfernung der sehnigen Enden ein Bezug angenommen wird zwischen deren Spannungsunterschied und dem anderer Puncte des Muskels. Wir wollen indess fortfahren, abgesehen von jeder Induction, Hrn. Budge Satz für Satz rein thatsächlich des Irrthums zu überführen.

(1.) Was erstens den Strom zwischen symmetrischen künstlichen Querschnitten betrifft, so bieten die 5. Spalte der IV. und die mit I. bezeichnete 3. Spalte der VI. Tabelle die Mittel zur Prüfung von Hrn. Budge's Lehre dar. Nur am Semimembranosus kann danach von deren Bestätigung die Rede sein. Zwischen symmetrischen künstlichen Querschnitten giebt dieser Muskel, wie zwischen sehnigen Enden, fast stets einen absteigenden Strom, dessen sehr wechselnde Stärke jedoch nie auch nur ein Drittel der Stärke des unteren Stromes beträgt, der hier stets dem oberen Strome bedeutend nachsteht. Diese Thatsache ist aber nicht etwa neu, und ich bin nicht erst durch Hrn. Budge darauf geführt worden. Vielmehr stand sie, nebst ihrer Erklärung, auf die wir zurückkommen werden, in meinem Werke dreizehn Jahre gedruckt[1]), ehe Hr. Budge an-

1) A. a. O. Bd. I. 1848. S. 497. 713.

fing, sich mit dem Muskelstrom zu beschäftigen. Unter den übrigen Muskeln zeigen der Rectus internus und der Adductor magnus gleichfalls eine ausgesprochene Beständigkeit der Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten. Während aber der Rectus internus zwischen sehnigen Enden öfter absteigend wirkt (siehe oben S. 676), wirkt er hier öfter aufsteigend, 22 Mal auf 30, und nur 9 Mal auf 20 ist die Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten dieselbe wie zwischen sehnigen Enden. Und während der Adductor magnus zwischen sehnigen Enden öfter aufsteigend wirkt, wirkt er hier öfter, ja mit grosser Regelmässigkeit, 24 Mal auf 30, absteigend, und nur 6 Mal auf 20 ist die Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten dieselbe wie zwischen sehnigen Enden. Der Sartorius, der zwischen sehnigen Enden so entschieden absteigend wirkt, wirkt zwischen symmetrischen Querschnitten nur 16 Mal auf 30 absteigend, und nur 8 Mal auf 20 ist die Stromrichtung dieselbe bei beiden Anordnungen.

Nachdem mit jedem Muskel die in den drei ersten Spalten der VI. Tabelle verzeichneten Versuche gemacht waren, wurden, durch Abtragung einer gleich dicken Schicht an jedem Ende, zwei neue symmetrische Querschnitte hergestellt, und die Wirkung zwischen diesen erprobt. Dies wurde so oft wiederholt, bis zuletzt nur noch ein aus der Mitte des Muskels geschnittenes Stück übrig blieb, welches nicht mehr zu verkürzen ging. Natürlich trat diese Grenze an den dikken Muskeln früher ein als an den dünnen. Die Ergebnisse dieser Versuche hat man in den mit II., III., IV., V. bezeichneten Spalten der Tab. VI. vor sich. Sie weichen nicht sehr ab von den an den unverkürzten Muskeln gewonnenen. Der Semimembranosus und der Adductor magnus fahren fort, sehr beständig absteigend zu wirken; weniger sicher behält der Rectus internus seine aufsteigende Wirkung bei. Am Sartorius wechseln positive und negative, grosse und kleine Ausschläge mit einander ab, ohne irgend einen Bezug zu verrathen.

Nach Hrn. Budge sollte, in dem Maasse wie der Mus-

kel verkürzt wird, die Eigenstrom-Spannung abnehmen. Die Versuche sind nicht geeignet, diese Behauptung zu prüfen, weil darin auch der Widerstand abnahm. Doch ist auffallend, dass selbst bei den dicken Muskeln, wo die Veränderung des Gesammtwiderstandes des Kreises, in Anbetracht der Thonschilder, nur klein war, sich von jenem Verhalten nichts blicken lässt.

(2.) Aber der Budge'sche Satz sollte zweitens nicht allein zwischen symmetrischen Querschnitten, sondern auch zwischen solchen in beliebiger Höhe gelten. Diese Behauptung wird durch Tab. VII. vollständig widerlegt. Hier entsprechen jedem Muskel drei Zahlen. Die vor der Klammer befindlichen Zahlen sind die Ablenkungen zwischen künstlichen Querschnitten, die den sehnigen Enden nahe angelegt wurden, und geben für sich Anlass zu denselben Wahrnehmungen, wie die so eben betrachteten gleichbedeutenden Zahlen der IV. und VI. Tabelle. Darauf wurde der Muskel durch einen dritten Querschnitt in zwei Abschnitte getheilt, und diese Abschnitte wurden nach einander mit ihren künstlichen Querschnitten aufgelegt. Die obere Zahl hinter der Klammer gehört dem oberen, die untere dem unteren Abschnitt. Der dritte Querschnitt wurde bei den drei ersten Fröschen in der geometrischen Mitte, bei den zwei letzten im Hilus angebracht. Man sieht, dass auch hier sich nichts den Budge'schen Behauptungen Entsprechendes herausstellt. Danach sollte der Strom in beiden Abschnitten stets gleichgerichtet sein; dies ist auf 40 Mal nur 18 Mal der Fall. Er sollte in beiden Abschnitten dieselbe Richtung haben wie im unzertheilten Muskel; dies trifft nur 13 Mal zu. Nur der obere Abschnitt des Rectus internus, und der untere des Semimembranosus, zeigen noch beständig, jener den auf-, dieser den absteigenden Strom. Am Sartorius macht sich schlechterdings kein Gesetz bemerkbar. Am Adductor magnus fällt auf, dass während dieser Muskel, zwischen symmetrischen Querschnitten, meist absteigend wirkt, in seinem unteren Abschnitt regelmässig der Strom aufsteigt; der Strom des oberen Abschnittes gehorcht keinem erkennbaren Gesetz. Ob die Muskeln in der Mitte

ihrer Länge oder im Hilus zerschnitten sind, scheint ganz gleichgültig. Dagegen haben wir oben S. 685 bereits erfahren, dass es nicht gleichgültig ist, ob der Querschnitt dem sehnigen Ende so nahe wie möglich oder in passendem Abstand angelegt wird. Im ersten Falle findet man aus dem angegebenen Grunde häufig den Strom in dem oberen Abschnitt auf-, in dem unteren absteigend.

Tab. VIII. beantwortet die Frage, welche sich hier aufdrängte, wie sich ein alter und ein frischer Querschnitt elektromotorisch zu einander verhalten. Diese Tabelle gleicht der vorigen, nur dass die Beobachtung mit dem ungetheilten Muskel wegblieb. Nachdem den sehnigen Enden nahe künstliche Querschnitte angelegt waren, liess ich den Muskel 6, 16, 23 Stunden im feuchten Raume bei mittlerer Temperatur liegen, schnitt ihn dann in der Mitte quer durch, und legte nach einander die obere und die untere Hälfte einerseits mit dem alten, andererseits mit dem frischen Querschnitt auf. In den beiden letzten Versuchen reagirten die alten Querschnitte deutlich sauer[1]). Entstände durch das verschiedene Alter der Querschnitte ein elektromotorischer Unterschied, stark genug, um sich inmitten der sonst hier auftretenden Zufälligkeiten geltend zu machen, so würde sich dies darin äussern, dass alle oberen Zahlen das eine, alle unteren das andere Vorzeichen hätten. Unter den 23 oberen Zahlen (ein Versuch am Sartorius ging verloren) sind 14 negativ, unter den 23 unteren ebenso viel positiv. Doch ist hierauf kaum etwas zu geben, da am Sartorius keine einzige untere Zahl positiv ist, und der Ausschlag nur vom Adductor magnus herrührt, dessen unterer Abschnitt auch bei gleicher Frische der beiden Querschnitte aufsteigend wirkt. Dazu kommt, dass die Regelmässigkeit in der Vertheilung der Vorzeichen mit dem Altersunterschied der Querschnitte nicht zunimmt, und dass in mehreren Versuchen das Anfrischen

1) De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Auct. Aem. du Bois-Reymond. Berol. MDCCCLIX. 4o. p. 14; — Monatsberichte der Berliner Akademie. 1859. S. 297.

des alten Querschnittes die Wirkung unverändert liess. Auf alle Fälle ist gewiss, dass bei den gegenwärtigen Prüfungen der Altersunterschied der Querschnitte, der sich nur auf Minuten oder gar Secunden beläuft, nichts zu sagen hat.

V. sollte, nach Hrn. Budge, der durch zwei künstliche Querschnitte begrenzte Muskel zwischen beliebigen Längsschnittspuncten auch noch stets einen Strom in demselben Sinne geben, wie zwischen sehnigen Enden, welcher Strom sich zu den schwachen Strömen des Längsschnittes algebraisch hinzufügt.

Tab. IV. lehrt, dass auch hieran nichts ist. Die 6. Spalte enthält die mit symmetrischen Längsschnittspuncten an den durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskeln erhaltenen Ablenkungen. Auch die einzelne, zu jedem Muskel gehörige Zahl in Tab. IX. hat dieselbe Bedeutung. Von einer Regelmässigkeit, wie Hrn. Budge's Theorie sie verlangt, zeigen diese Beobachtungen an und für sich keine Spur; und nur 25 Mal auf 40 fällt die Stromrichtung zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten zusammen mit der zwischen sehnigen Enden.

Die obere Zahl in der 7. Spalte von Tab. IV. wurde erhalten, als bei unveränderter Spannweite der eine Ableitungspunct möglichst nahe an den oberen künstlichen Querschnitt verlegt wurde, die untere, als dasselbe mit dem unteren Ableitungspuncte geschah. Nach dem Gesetze des Muskelstromes soll jene negativ, diese positiv sein. Jene ist auf 10 Mal am Rectus internus negativ 8, am Adductor magnus 9, am Sartorius und Semimembranosus 10 Mal; diese am Rectus internus positiv 8, am Sartorius 9, am Adductor magnus und Semimembranosus 10 Mal. Dem Zeichen nach entsprechen also beide zusammen dem Gesetz im Ganzen 74 auf 80 Mal. Nach dem Gesetze sollten die oberen und unteren Zahlen gleich sein; nach Hrn. Budge sollten sie ungleich sein, und der Unterschied dasselbe Zeichen haben, wie der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten u. s. w. Die Tabelle lehrt, dass die Zahlen oft sehr un-

gleich sind, und dass 27 Mal auf 40 das Zeichen ihres Unterschiedes wirklich eins ist mit dem jenes Stromes. Wir werden aber sehen, dass hierin nichts für Hrn. Budge Günstiges liegt, insofern dies beiden gemeinsame Zeichen seiner Theorie widerspricht (vergl. unten S. 698).

VI. und schliesslich sollte, nach Hrn. Budge, der künstliche Strom, wenn er mit dem angeblichen Eigenstrom zwischen den sehnigen Enden u. s. w. gleiche Richtung hat, stärker sein, im anderen Falle schwächer.

Dies ist, wie man sich entsinnt, Hrn. Budge's Hauptsatz, den er auf die übrigen Muskeln vom Gastroknemius übertragen hat, wo zwar etwas der Art wirklich geschieht, aber, wie wir sahen, ganz anders zu deuten ist. Zur Beurtheilung dieses Satzes bieten die Tabellen IV., VI., IX. und X. das erforderliche Material. In der 8. Spalte von Tab. IV., der 2. von Tab. VI., ferner überall in Tab. IX. ist die obere Zahl die mit dem oberen, die untere die mit dem unteren künstlichen Strom erhaltene Ablenkung, so dass für jeden der vier Oberschenkelmuskeln 30 solche Versuche vorliegen. In Tab. X. sind die beiden zu jedem Muskel gehörigen Zahlen die obere und untere Stromspannung [1]). Der abgeleitete Längsschnittspunct war stets der Aequator.

Man sieht zunächst, dass in den 422 Versuchen an regelmässigen Muskeln, worin Längsschnitt mit künstlichem Querschnitt zum Kreise geschlossen wurde, kein einziges falsches Zeichen vorkommt, auch nicht, wo der Querschnitt schräg war, wie in der I. und II. Tabelle; und in der That ereignet sich dies unter den gewöhnlichen Umständen nie. Was

---

1) Die Maasskette war ein für jeden Versuch frisch gefüllter grösserer Grove. Bei der dauernden guten Schliessung war es nicht zu verhindern, dass die Kraft der Maasskette während der zwei Stunden, die über die 32 Messungen an jedem Frosch ungefähr hingingen, um ein paar Hundertel sank. Eine Berichtigung deshalb anzubringen, schien der Mühe nicht werth, da der Punct, worauf es hier ankommt, das Verhältniss nämlich des oberen und des unteren Stromes an den einzelnen Muskeln, dadurch nicht merklich berührt wurde.

die Grösse der oberen und unteren Wirkungen betrifft, so gewährt folgende Tabelle einen Ueberblick der Mittel aus den 30 Versuchen der Tab. IV., VI. und IX., und den 10 der Tab. X.

	Auf 30 Mal über-wiegt:	Mittlere obere Stromstärke.	Mittlere untere Stromstärke.	Deren Verhältniss	Mittlere obere Stromspann.	Mittlere untere Stromspann.	Deren Verhältniss.
R. int.	Unt. Str. 27 Mal	−52,3	+86,0	−1,000 :+1,645	−153,7	+202,8	−1,000:+1,319
Sartor.	Ob. Str. 16 Mal	−172,1	+165,9	−1,037 :+1,000	−303,0	+294,2	−1,030:+1,000
Add. m.	Ob. Str. 19 Mal	−295,9	+284,2	−1,041 :+1,000	−376,5	+374,0	−1,007:+1,000
Semim.	Ob. Str. 30 Mal	−310,8	+218,2	−1,425:+1,000	−410,4	+365,3	−1,123:+1,000

Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen des Hrn. Budge, so zeigen sich hinsichtlich der in den einzelnen Muskeln vorwiegenden Stromrichtung und des Verhältnisses zwischen den beiden Stromstärken solche Abweichungen, dass man schliessen muss, Hr. Budge habe nur zum Theil Richtiges gesehen, im Uebrigen sei er durch Fehler seiner Versuchsweise getäuscht worden. Lassen wir dies vorläufig auf sich beruhen, und halten wir uns an unsere eigenen Wahrnehmungen, so findet sich allerdings am Rectus internus ein Uebergewicht des unteren, an den drei anderen Muskeln des oberen Stromes, welches sich darin ausprägt, dass dort jener, hier dieser Strom öfter der stärkere ist, und dass das Mittel der Wirkungen des einen Stromes das des anderen übertrifft. Doch erreicht nur am Rectus internus und Semimembranosus das Uebergewicht eine in Betracht kommende Häufigkeit und Grösse. Am Sartorius und Adductor magnus beträgt es, der letzteren nach, nur wenige Procent, und wenn man am nämlichen Muskel mehrmals abwechselnd den oberen und unteren Strom misst, erscheint bald der eine, bald der andere stärker, so dass man den wirklich stärkeren nur dadurch erkennt, dass man das Mittel aus einer grösseren Anzahl von Versuchen nimmt (s. oben S. 674 675). Dabei fehlt

es, wie sich vorhersehen liess, an jedem Bezuge zwischen dem Sinn, in dem das Uebergewicht an unseren vier Muskeln im Mittel stattfindet, und der Stromrichtung zwischen sehnigen Enden. Zwar am Sartorius und Semimembranosus kommt auch zwischen sehnigen Enden der obere Strom häufiger vor, am Rectus internus aber der obere, am Adductor magnus der untere, so dass Hrn. Budge's Hauptsatz zweimal zutrifft nnd zweimal nicht.

Man übersieht nun bereits das Schicksal auch dieses Satzes. Das Ergebniss gestaltet sich dafür aber noch ungünstiger, wenn man von der Betrachtung der Stromstärken zu der der elektromotorischen Kräfte übergeht. Im einzelnen Falle sowohl als im Mittel von Beobachtungsreihen, wie Tab. X. sie darbietet, zeigt sich, dass zwar die beiden Stromspannungen in demselben Sinne von einander abweichen, wie die Stromstärken, aber zum Theil um ansehnlich kleinere Grössen. Der Unterschied der Spannungen am Adductor magnus z. B. ist im Mittel aus 10 Versuchen so klein, dass, um ihn auszudrücken, die Verhältnisszahlen haben müssen bis auf die vierte Stelle berechnet werden, eine Genauigkeit, welche sonst hier keinen Sinn hätte.

So bestätigt sich beiläufig, was oben S. 669 vom Vergleich der beiden künstlichen Ströme gesagt wurde, dass er an sich nichts lehre, was man nicht leichter durch Beobachtung des Stromes zwischen den künstlichen Querschnitten erfahre. Dieser Strom steht zum Unterschiede der beiden künstlichen Ströme in derselben Beziehung wie der Strom zwischen sehnigen Enden zum Unterschiede der beiden natürlichen Ströme (s. oben S. 679. 680). Die Häufigkeit des Vorkommens einer bestimmten Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten ist bei den verschiedenen Muskeln etwa die gleiche, wie die des Ueberwiegens des gleichgerichteten künstlichen Stromes. Zwischen symmetrischen Querschnitten hat auf 20 Mal der Strom am Rectus internus 16, am Sartorius und Adductor magnus 10, am Semimembranosus 19 Mal, auf 80 Mal im Ganzen 55 Mal, die gleiche Richtung mit dem stärkeren der beiden künstlichen Ströme. So wenig sich uns

eine Beziehung des Stromes zwischen symmetrischen Querschnitten zu dem zwischen sehnigen Enden offenbarte (s. oben S. 688 ff.), so wenig konnte also jetzt eine solche zwischen dem letzteren Strome und dem Unterschiede der beiden künstlichen Ströme hervortreten.

Abermals obliegt uns nun, nachdem die Budge'sche Deutung beseitigt ist, vom Standpuncte des Gesetzes des Muskelstromes die Erscheinungen zu rechtfertigen, welche, indem sie Hrn. Budge mehr oder minder entstellt zu Gesicht kamen, ihn zur Annahme des Eigenstromes veranlassten. Eine genauere Betrachtung unserer vier Muskeln führt zur Erklärung jener Erscheinungen wenigstens an zweien unter ihnen. Wir nennen diese vier Muskeln die mehr regelmässig gefaserten, und bedienen uns ihrer in Ermangelung besserer, obschon sie noch immer erhebliche Abweichungen von einer wahrhaft regelmässigen Gestalt zeigen. Der regelmässigste unter den vieren ist noch der Adductor magnus. Abgesehen davon, dass er oben ein wenig breiter und dünner ist als unten (vergl. oben S. 559), stellt er, durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzt, annähernd wirklich einen Cylinder mit gestreckt elliptischer Basis dar, und auch seine sehnigen Enden sind sehr symmetrisch gebildet. Daher an diesem Muskel das Gesetz des Muskelstromes sich am reinsten ausprägt. Am Sartorius zeigt das untere sehnige Ende die oben S. 679 berührte Abweichung; durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzt, nähert sich aber auch dieser Muskel der idealen, beim Gesetze gedachten Gestalt. Der Semimembranosus dagegen, dessen abweichender Bau bei der gleichen Gelegenheit zur Sprache kam, ist an seinem oberen, der Rectus internus an seinem unteren Ende dicker als an dem anderen. Es findet hier also statt, was wir oben S. 672 vorhersahen. Da der Widerstand der Muskeln, unter den gewöhnlichen Umständen, nicht gegen den des Kreises verschwindet, so liefern der Rectus internus und der Semimembranosus mit ihrem dickeren Abschnitt zwischen Aequator und Querschnitt ganz natürlich einen stärkeren Strom, als mit ihrem dünneren, und man dürfte hieraus noch nicht, wie Hr. Budge ohne Weiteres thut, auf ungleiche

Negativität der beiden Querschnitte schliessen. Die Beobachtung des Stromes zwischen den Querschnitten selber und die Messung der Spannungsunterschiede anstatt der Stromstärken lehrt indess, dass auch wirklich an beiden Muskeln der grössere Querschnitt öfter der negativere ist. In Bezug auf den Semimembranosus habe ich schon in meinem Werke [1]) angegeben, dass dies auf die grössere elektromotorische Kraft dickerer Muskeln zurückzuführen sei, welche aus Tab. X. auf's Neue erhellt. Diese grössere Kraft selber war damals unerklärt. Jetzt leiten wir sie von der relativ kleineren Dicke der geschwächten oder unwirksamen Schicht an den dickeren Muskeln ab (s. oben S. 583. 584), und so lässt sich auch die grössere Negativität des oberen Querschnittes am Semimembranosus, des unteren am Rectus internus verstehen. Denkt man sich den kegelförmig verjüngten Muskel überall mit einer gleich dicken unwirksamen Schicht bekleidet, so muss der grössere Querschnitt eine geringere mittlere (positive) Spannung haben, als der kleinere. Ausserdem mag an dem dünneren Muskel oder Muskelende die unwirksame Schicht auch absolut dicker sein, weil die Oberfläche, von der die schädlichen Einflüsse ausgehen, relativ grösser ist. Am Sartorius und Adductor magnus fällt zwar kein Grössenunterschied der Querschnitte in die Augen. Doch ist er in geringem Maasse vielleicht vorhanden, da auch hier die mittleren oberen und unteren Stromstärken und Stromspannungen in gleichem Sinne von einander abweichen, jene aber mehr als diese, was auf einen Unterschied der Widerstände schliessen lässt.

Um im einzelnen Falle das Ueberwiegen bald der einen, bald der anderen Stromspannung zu erklären, bietet sich jetzt die Vermuthung dar, dass aus irgend welchen Gründen die unwirksame Schicht bald am einen, bald am anderen Ende dicker sei. Stets wird das Ende, wo sie dünner ist, negativer erscheinen. Daneben bleibt noch die nah liegende Annahme, dass nicht überall im Muskelinneren die gleiche elektromoto-

---

1) A. a. O. Bd. I. S. 712 ff.

rische Kraft herrsche (vergl. oben S. 683). Wer da weiss, dass man nicht zwei aus demselben Stück geschnittene, sorgfältig gereinigte Platinbleche als Multiplicatorenden in destillirtes Wasser tauchen kann, ohne bei hinlänglicher Empfindlichkeit einen Ausschlag zu erhalten, wird es unbillig finden, wenn an zwei Querschnitte eines Muskels das Verlangen unbedingter Gleichartigkeit gestellt wird, und, weil diese fehlt, so wenig das Gesetz des Muskelstromes bezweifeln, als den elektromotorischen Unterschied von Platin und Zink aus dem Grunde, dass das Verhalten jedes Metalles innerhalb gewisser Grenzen schwankt.

Eine vollendete Theorie müsste hier allerdings noch von folgenden Umständen Rechenschaft geben. In Tab. IV. und IX. hat an dem durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Muskel der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten öfter die umgekehrte Richtung von der, welche der Unterschied des oberen und des unteren künstlichen Stromes zeigt. Auf 20 Mal trifft dies am Semimembranosus zwar nur 8, auf 19 Mal am Rectus internus nur 10, auf 18 Mal aber am Sartorius 13, und auf 19 Mal am Adductor magnus 15 Mal zu. Dagegen hat jener Strom, wie man sich erinnert (s. oben S. 692. 693), öfter gleichen Sinn mit dem Unterschied des oberen und unteren künstlichen Längsschnittsstromes, wie wir die in der 7. Spalte der vierten Tabelle verzeichneten Ströme nennen wollen, welche man zwischen dem Aequator und einem Längsschnittspunct beziehlich dem oberen und dem unteren künstlichen Querschnitt nahe erhält. Demgemäss ist in Tab. IV. öfter der obere Strom vom Längs- zum Querschnitt der stärkere, wo der obere Längsschnittsstrom der schwächere ist, und umgekehrt. Auf 10 Mal trifft dies am Semimembranosus zwar nur 3, auf 9 Mal am Rectus internus nur 4, auf 9 Mal aber am Sartorius 6, am Adductor 7 Mal zu. Dass der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten und der Unterschied des oberen und unteren Längsschnittsstromes zugleich die umgekehrte Richtung vom Unterschiede des oberen und unteren Stromes vom Längs- zum Querschnitt haben, kommt auf 10 Mal am Semi-

membranosus freilich nur 2, auf 9 Mal am Rectus internus nur 3, am Sartorius aber 6, am Adductor 5 Mal vor, und an den beiden letzten Muskeln zeigt sich dies auch im Mittel der 10 Versuche. Macht man, wie wir vorschlugen, die grössere Negativität des einen Querschnittes davon abhängig, dass die unwirksame Schicht sich nach ihm hin verjüngt, so muss der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten in der beobachteten Richtung kreisen (s. oben S. 685). Weiter lässt sich vor der Hand nicht sicher schliessen, und es lässt sich noch nicht bestimmt sagen, weshalb an dem mehr kegelförmigen Semimembranosus und Rectus internus die geschilderten Beziehungen sich anders gestalten, als an dem mehr cylindrischen Adductor und Sartorius. Was dagegen klar erhellt, ist, dass das Verhalten an den beiden letzten Muskeln Hrn. Budge's Lehre auf das Entschiedenste widerspricht. —

Die sechs, aus dieser Lehre gefolgerten Sätze sind nun also, jeder für sich, als unhaltbar erwiesen. Wir hätten uns auch, statt dessen, kurz so fassen können. Hr. Budge behauptet, dass der unverletzte Muskel unter allen Umständen, der durch zwei Querschnitte begrenzte zwischen diesen Querschnitten und zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten, in dem (nach Hrn. Budge) beständigen Sinne des Unterschiedes zwischen oberem und unterem Strom wirke. Danach müsste in den sechs ersten Spalten von Tab. IV. bei jedem Muskel nur ein und dasselbe Vorzeichen stehen, und dies einerlei sein mit dem Vorzeichen des Unterschiedes der oberen und unteren Zahl in der 7. und 8. Spalte. Unter den 40 Versuchen der Tabelle ereignet sich dies nur 2 Mal, 1 Mal am Sartorius (II. B.), 1 Mal am Semimembranosus (III. A). Damit allein wäre Hrn. Budge's Theorie der Stab gebrochen gewesen.

Ob in den kleinen Wirkungen, die bald im einen, bald im anderen Sinne zwischen Querschnitten oder Längsschnittspuncten auftreten, wo nach dem Gesetze Gleichgewicht herrschen sollte, sich noch ein gesetzliches Verhalten verstecke, ist nur so zu entscheiden, dass das Mittel aus hinlänglich vielen Beobachtungen gezogen wird, um anzunehmen, die zufälligen

Abweichungen glichen einander aus (s. oben S. 674. 675). Fände sich das Gesetz des Muskelstromes an einem Muskel in aller Strenge verwirklicht, so müssten im Mittel von hinlänglich vielen Beobachtungen die Zahlen in der 1., 2., 5. und 6. Spalte der Tab. IV. verschwinden, und die absoluten Werthe der negativen oberen Zahlen in der 3., 4., 7. und 8. Spalte mit denen der positiven unteren Zahlen zusammenfallen. Bleiben aber, auch bei der grössten Anzahl von Versuchen, immer noch bestimmte Werthe jener und Unterschiede dieser Zahlen übrig, so muss man schliessen, dass eine beständige Ursache die reine Ausprägung des Gesetzes störe.

Im Anhang zu Tab. IV. sind die Mittel aus dieser Tabelle mit den Mitteln aus den übrigen Tabellen, soweit erstere und letztere einerlei Versuche enthalten, vereinigt. Die eingeklammerten Zahlen über den Spalten des Anhanges besagen, aus wieviel Versuchen jede Zahl der Spalte stammt. Die Abweichungen zwischen den Mitteln aus den einzelnen Tabellen zeigen, dass die Beobachtungen noch nicht zahlreich genug sind, damit die zufälligen Störungen sich schon vollständig ausglichen. Auch müsste, um die Wirkungen des Muskels in verschiedenen Lagen ihrer Grösse nach zu vergleichen, die Messung der elektromotorischen Kräfte durchweg die der Stromstärken ersetzen. In ihrem jetzigen Zustande lässt die Uebersicht der mittleren Wirkungen wenig erkennen, was nach den so eben besprochenen Eigenthümlichkeiten der einzelnen Muskeln nicht zu erwarten wäre, und insbesondere zeigt sich keine sichere Spur einer inneren Polarisation (s. oben S. 666. 667).

Betrachtet man in Tab. X. die Spannungen an den verschiedenen Muskeln, so sieht man sie an den regelmässig gefaserten Muskeln mit dem Querschnitt wachsen, ganz wie ich dies, wenn auch minder unmittelbar, in meinem Werke aufgestellt hatte [1]). Wie damals, zeigte die grösste Spannung an diesen Muskeln auch jetzt der obere Strom des Semimembranosus. Es war von Wichtigkeit, diese Spannun-

---

1) A a. O. Bd. I. S. 703ff.

gen mit denen zu vergleichen, welche man am Triceps und am Gastroknemius sowohl ohne als mit Hülfe der natürlichen Neigungsströme erhält. Wir wissen schon (s. oben S. 655 ff.), dass an diesen beiden Muskeln die obere Stromspannung sich der unteren um so mehr nähert, je grösser die Parelektronomie. Aus Tab. X. erfährt man, dass alsdann diese Spannungen, mit Rücksicht auf den Querschnitt der Muskeln, auffallend klein sind, da sie zwischen denen am Rectus internus und denen am Sartorius stehen. Dies erklärt sich aus der Beschaffenheit der Querschnitte (s. oben S. 651. 652). Nach Zerstörung der parelektronomischen Schicht zeichnet sich der Triceps, aus dem oben S. 659 erwähnten Grunde, nicht weiter aus. Am Gastroknemius dagegen erreicht bei mittlerer Spannweite die untere Spannung jetzt eine sehr bedeutende Grösse, welche in einzelnen Fällen die grösste obere Spannung des Semimembranosus, und im Mittel das Mittel für jene, übertrifft. Allein man kann dem Gastroknemius, nach zerstörter Schicht, noch ansehnlich stärkere Wirkungen entlocken, wenn man statt der mittleren die grösste Spannweite wählt, wovon Tab. III. Beispiele giebt. Aber auch die hier verzeichneten Spannungen lassen sich noch weit übertreffen dadurch, dass man unten nur ein kleines Stück vom Muskel abschneidet, so dass der Achillesspiegel in möglichst grosser Länge erhalten bleibt. Ich habe einmal die untere Spannung mit Kreosot als entwickelnder Flüssigkeit bis zu 936 Compensatorgraden sich steigern sehen; ein Werth derselben über 800 ist nichts ungewöhnliches. Mit Essigsäure erhält man auch sehr hohe Spannungen. Kochsalz-, Höllenstein-, Kalihydrat-Lösung sind minder günstig, weil sie zugleich durch Nebenschliessung schwächen [1]).

Mit diesen Spannungen waren jetzt noch die zu vergleichen, welche man von den regelmässig gefaserten Muskeln mit Hülfe der künstlichen Neigungsströme erhält. Dazu kann man hier die nämliche Anordnung treffen, wie am Gastroknemius, d. h. einerseits den Längsschnitt oberhalb

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 57. 78.

der stumpfen Ecke zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt, andererseits einen kleinen senkrechten Querschnitt berühren, durch den man die spitze Ecke abgestumpft hat, wobei freilich ungewiss bleibt, ob man dadurch, dass man den schrägen Querschnitt verkürzt, nicht mehr an elektromotorischer Kraft einbüsst, als man dadurch gewinnt, dass man statt des schrägen Querschnittes senkrechten berührt. Wie dem auch sei, auch diese Spannungen werden von der unteren Spannung eines wie oben behandelten Gastroknemius übertroffen, welche also überhaupt die höchste bisher an Froschmuskeln beobachtete ist. Dies erscheint in der Ordnung, wenn man die grosse Länge des Achillesspiegels erwägt, welche die des längsten gleich schrägen Querschnittes, den man an einem regelmässig gefaserten Muskel anlegen kann, bedeutend übersteigt.

Schlussbemerkungen.

§. XII.

Es bleibt in Betreff des Gesetzes des Muskelstromes beim Alten.

Somit ist der unwidersprechliche Beweis dafür geliefert, dass, wie Hrn. Budge's auf die Versuche am Gastroknemius gegründete Einwürfe gegen das Gesetz des Muskelstromes nur einem Missverständniss entsprangen, so seine Behauptung eines vom Längs- und Querschnitt unabhängigen Eigenstromes in den regelmässigen Muskeln ein Hirngespinnst ist. Wie die oben S. 664. 665 mitgetheilten Versuche zu erklären seien, durch welche er selber das Dasein dieses Stromes zu beweisen sucht, ist eine andere Frage. Sicher ist, dass diese Versuche falsch sind.

Von diesem Urtheil nehme ich vorläufig die am Biceps, den Peronei und dem Tibialis anticus aus, welche richtig sein mögen, obschon dies, nach Analogie der übrigen, wenig wahrscheinlich ist, die aber dann jedenfalls anders zu erklären sind, als Hr. Budge will. Ich habe diese Ver-

suche nicht wiederholt, weil ich ihnen bis auf Weiteres jede Beweiskraft in der vorliegenden Frage abspreche. Der Biceps, die Peronei und der Tibialis sind keine regelmässig gefaserten Muskeln. Der Biceps z. B. hat an jedem Ende einen langen Sehnenspiegel, der bis über die Mitte des Muskels reicht, und besteht somit aus kurzen, schrägen Fasern. Was Hr. Budge daran Längsschnitt nennt, ist, wie am Gastroknemius, grösstentheils natürlicher Querschnitt (s. oben S. 610). Der Tibialis ist ein doppelt gefiederter Muskel, unten mit einem Sehnenspiegel, oben mit einer im Muskel verborgenen Sehne versehen, von der, als Federschaft, jederseits nach unten die Fleischbündel abgehen. Einer Verwendung dieser Muskeln für den jetzigen Zweck müsste erst eine genaue Erforschung des Faserverlaufes daran voraufgehen, gleich der von uns am Gastroknemius angestellten, und es müsste überlegt werden, welche Wirkungen danach hier, vom Gesetze des Muskelstromes aus, und mit Berücksichtigung der Neigungsströme, zu erwarten wären. Wem es behagt, dies durchzuführen, der thue es doch: bei den Tausenden unregelmässig gestalteter Muskeln, die uns die Thierwelt bietet, hat er ein weites Feld der Thätigkeit vor sich. Seine Arbeit wird etwa so nützlich sein, wie die Eines, der darauf ausginge, die Vertheilung des Magnetismus in jedem Schlüsselbart, oder den Gang des Lichtes in jeder Glasscherbe zu erforschen, um sie mit den Gesetzen in Einklang zu finden, die man an linearen Magneten, oder an homogenen, regelmässig begrenzten Medien erkannt hat.

Aber auch Hrn. Budge's Versuche am Sartorius könnten richtig sein, und es würde ihnen jede Beweiskraft in seinem Sinne abgehen. Denn wie ein Strom, der im nämlichen Muskel bald nicht vorhanden, bald stark, bald schwach ist, bald auf-, bald absteigt (s. oben S. 665), ein Fundamentalphänomen sei, vor dem der Muskelstrom in den Hintergrund trete, begreife ich nicht.

Inzwischen Hrn. Budge's Versuche am Sartorius sowohl, wie an den übrigen regelmässig gefaserten Muskeln sind, ich wiederhole es, falsch.

Sie sind falsch, denn er behauptet, dass bei allen Muskeln stets ein bestimmter Strom, der obere oder der untere, der stärkere sei. Unsere Tabellen lehren dagegen, dass, während der Rectus internus und Semimembranosus hier aus guten Gründen nicht mitreden, auf 40 Mal am Sartorius nur 20, am Adductor magnus nur 25 Mal der obere Strom vorwiegt. Den Sartorius freilich schliesst Hr. Budge selber von seiner Regel aus.

Hrn. Budge's Versuche sind falsch, denn man findet zwischen dem oberen und unteren Strom nicht entfernterweise solche Unterschiede, wie Hr. Budge angiebt. Am Adductor magnus und Sartorius, wo im Mittel von 30 Versuchen das Verhältniss des stärkeren Stromes zum schwächeren 1,04 beträgt, und wo es sich nur ausnahmsweise einmal bis zu 1,59 am ersteren, und 1,76 am letzteren Muskel erhebt, dafür aber auch dort gelegentlich bis zu 1,01, hier bis zur Einheit sinkt: findet Hr. Budge selten ein kleineres Verhältniss der beiden Ströme als von 2 : 1, und häufig ein viel grösseres.

Hrn. Budge's Versuche sind falsch, denn während am Rectus internus das Verhältniss im Mittel wirklich die Grösse von 1,6 : 1, am Semimembranosus die von 1,4 : 1 erreicht, findet Hr. Budge am Rectus internus keinen erheblich grösseren, am Semimembranosus sogar einen viel kleineren Unterschied, als am Sartorius und Adductor magnus.

Hrn. Budge's Versuche sind falsch, denn während am Adductor magnus der Unterschied zwischen oberem und unterem Strom sich auf ein leises Uebergewicht des oberen Stromes beschränkt, findet Hr. Budge 18 Mal auf 19 ein ungeheures Uebergewicht auf Seiten des unteren Stromes.

Hrn. Budge's Versuche sind endlich falsch, denn wenn ich auch, in unzähligen Versuchen, einmal am Rectus internus den hart am sehnigen Ende angelegten Querschnitt schwach positiv gegen den Längsschnitt sah (s. oben S. 685), fällt doch unter den gewöhnlichen Umständen der künstliche Strom schlechterdings niemals verkehrt aus, was Hr. Budge am Adductor magnus für etwas Alltägliches ausgiebt.

Wodurch Hr. Budge zu so falschen Ergebnissen geführt wurde, kann ich nicht errathen. Es ist keinenfalls allein die Vernachlässigung des Gesetzes der Spannweiten. Es ist nicht blos, dass vielleicht an seinem Multiplicator, was so leicht geschieht, die Intensitätencurve zu beiden Seiten des Nullpunctes verschieden steil war. Wie gross man sich die aus diesen beiden Puncten entspringenden Fehler vorstelle, man begreift nicht, weshalb er am Adductor magnus den Längsschnitt negativ gegen den Querschnitt fand.

Allein Hrn. Budge's falsche Versuche zu erklären, obliegt nicht mir und geht über meinen Horizont. Hr. Budge, der zur Vermeidung der Polarisation auch die Drähte zwischen den Zuleitungsgefässen und dem Multiplicator aus verquicktem Zink nimmt (s. oben S. 525), begeht Fehler, auf die ich gar nicht verfallen kann.

Nach dem Allen kann es kaum nöthig sein, das Ergebniss dieser Untersuchung noch besonders auszusprechen. Es lautet einfach dahin, dass es in Betreff des Gesetzes des Muskelstromes beim Alten bleibt. Die scheinbaren Abweichungen von diesem Gesetz, die wir am unversehrten Gastroknemius erkannt haben, wo sie Hrn. Budge entgangen waren, obschon er darauf ausging, dergleichen zu entdecken, sind auf die von uns sogenannten Neigungsströme zurückgeführt. Die Abweichungen der Art am querdurchschnittenen Gastroknemius sind ebenso auf die Eigenschaften schräger Querschnitte zu beziehen. Die von Hrn. Budge behaupteten ungeheuren Unterschiede zwischen dem oberen und unteren Strom an den regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln existiren nicht, sondern beruhen auf irgend einem Versuchsfehler. Was sich Annäherndes bei einigen Muskeln, z. B. dem Semimembranosus, beobachten lässt, rührt, wie ich vor Jahren zeigte, von Eigenthümlichkeiten im Bau solcher Muskeln her. Die methodische Prüfung der vier mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches hat gelehrt, dass kein polarer Gegensatz ihrer Enden stattfindet, wie Hr. Budge ihn annimmt. Der meist vorhandene, grössere oder kleinere Spannungsunterschied der sehnigen Enden

erklärt sich durch deren verschiedene Parelektronomie, welche auch unter den gewöhnlichen Umständen an einem, ja an beiden Enden soweit gehen kann, dass der natürliche Strom verkehrt erscheint. Hrn. Budge's Versuch, die Matteucci'sche Lehre vom Eigenstrom wiederzubeleben, ist somit gänzlich gescheitert, und hat nur dazu gedient, das Maass seiner Befähigung in diesem Gebiete festzustellen.

Damit soll nicht geleugnet werden, dass die kleinen und scheinbar regellosen Wirkungen, die man erhält, wo nach dem Gesetz keine stattfinden sollten, noch feinere Züge eines gesetzlichen Verhaltens verbergen, obwohl dies gegenwärtig nicht sehr wahrscheinlich ist. Niemand weiss besser als ich, dass meine Schilderung der elektromotorischen Thätigkeit der Muskeln und Nerven für nichts als für eine erste Annäherung an die Wahrheit gelten kann, die im Grossen und Ganzen zutreffend, überall der Ausführung und an vielen Stellen der Berichtigung bedarf. Mit den Vorrichtungen und Versuchsweisen, die jetzt durch mich zum Gemeingut geworden sind, ist es nicht schwer, dergestalt Nachlese zu halten, oder den Meister zu spielen. Ich selbst finde, wie diese Abhandlung zeigt, in fast jedem Puncte des einst von mir unter so grossen Schwierigkeiten zuerst betretenen Gebietes mit den jetzigen Hülfsmitteln Neues zu verzeichnen und Altes zu verbessern.

Um aber mit Nutzen für die Wissenschaft sich an dieser Arbeit zu betheiligen, reicht der Besitz eines Sauerwald'schen Multiplicators oder eines Meyerstein'schen „Elektrogalvanometers" nicht aus, wie Einige zu glauben scheinen; so wenig wie, weil heutzutage eine gute Büchse überall käuflich ist, auch Jedermann in's Schwarze trifft. Um im Gebiete des Muskel- und Nervenstromes weiter vorzudringen, als mir vergönnt war, dazu gehört, von Anderem zu schweigen, mindestens die Bekanntschaft mit dem schon Vorhandenen, und das Vermögen, die von mir beschriebenen Erscheinungen darzustellen, welches wiederum zunächst wurzelt in der genauen Kenntniss der physikalischen Grundlagen dieses Gebietes. Hr. Budge, der Angesichts alltäglicher Erfahrungen ein Triumphgeschrei über seine Entdeckungen erhebt

(S. ob. S. 542. 543); dessen Unwissenheit in der Physik schon immer das Staunen der Physiologen erregt hat (s. oben S. 544), und der nicht einmal den Strom vom Längs- zum Querschnitt fehlerfrei abzuleiten versteht: Hr. Budge wird erst noch etwas in die Schule gehen müssen, ehe er für die reformatorische Sendung reif ist, zu der er sich hier, in der Einfalt seines Herzens, schon jetzt berufen glaubt.

Hr. Budge hegt, wie es scheint, einen besonderen Widerwillen gegen meine Lehre von der parelektronomischen Schicht. In seiner ersten Mittheilung nennt er diese Lehre „eine geschraubte, auch durch keine einzige Thatsache ge„stützte, dem Unbefangenen höchst unglaublich erscheinende „Theorie,“ die ich mir habe ausdenken müssen, weil mir die ihm vorbehaltenen Entdeckungen entgangen seien; und in seiner zweiten Mittheilung sagt er von dem angeblichen Unterschied zwischen oberem und unterem Strom: „Wenn nun „zuerst diese erste und wesentlichste Thatsache anerkannt „sein wird, dann wird bald von selbst die Theorie über die „parelektronomische Schicht und über den Aequator fallen; „daher ich vorläufig davon nicht handle.“ Da Hrn. Budge's „erste und wesentlichste Thatsache“ nicht existirt, und da sie, wenn sie existirte, mit der Lehre von der parelektronomischen Schicht in keinem fassbaren Zusammenhang stände: so schreckt mich seine Prophezeiung nur wenig. Inzwischen hat die Sache noch eine andere Seite.

Ich habe über die Erscheinungen, die ich der parelektronomischen Schicht zuschreibe, von 1843 bis 1851, Tausende zum Theil sehr mühsamer Versuche angestellt. Ich habe währenddem, ausdauernd und angestrengt, über den Grund dieser Erscheinungen nachgedacht, habe an der Hand der sorgfältigsten Experimentalkritik, deren ich fähig war, Hypothese nach Hypothese widerlegt, und bin zuletzt zu einer Vorstellung gelangt, welche jene Thatsachen, trotz ihrer Mannigfaltigkeit, Verwickelung und scheinbaren Paradoxie, mit überraschender Einfachheit erklärt, und sogar aus den verlassenen Halden Volta'scher Beobachtungen noch einen Gehalt an Wahrheit auszubringen erlaubt hat. Ich habe diese

Untersuchung, mit gewissenhafter Erwähnung jedes zweifelhaften Punctes, und mit deutlicher Scheidung des Erfahrungsmässigen vom Hypothetischen, im Auszuge in den Monatsberichten der Akademie für 1851, ausführlich aber in der im Jahre 1860 erschienenen Fortsetzung meines Werkes veröffentlicht, wo sie fast zwölf Bogen einnimmt. Die Hauptpuncte meiner Lehre habe ich endlich seit zwölf Jahren in Deutschland und zu zwei Malen in England theils in öffentlichen Vorträgen durch Versuche erläutert, theils Jedem, der es wünschte, in der Nähe gezeigt. Die Physiologie, ja die experimentelle Naturwissenschaft, besitzt keine sicherer darzulegende Thatsachen.

Jetzt kommt ein Mann, der sich selber einen Neuling in diesem Felde nennt; der sich als einen solchen bei jedem Schritt durch Fehler erweist, die sogar auf noch mehr deuten als auf Unerfahrenheit, nämlich auf Unfähigkeit für dergleichen Arbeiten überhaupt; der mein Buch nur von aussen kennt; der nach der Art, wie ihm auch die leichtesten unter meinen Versuchen fehlschlagen, von den Erscheinungen, die zur Annahme der parelektronomischen Schicht zwingen, schwerlich eine gesehen hat, und dessen Missverstehen der einfachsten Puncte in der Theorie des Muskelstromes zu der Meinung berechtigt, dass es ihm mit der viel schwierigeren Theorie der parelektronomischen Schicht nicht besser ergangen ist. Und dieser Mann, dem die Schöpfung neuer Gebiete der Wissenschaft ein Dorn im Auge ist, von denen er sich, ohne es sich einzugestehen, durch seinen Bildungsgang ausgeschlossen fühlt, unterfängt sich, ohne selber einen einzigen Versuch anzuführen, über das Ergebniss achtjährigen Fleisses, als über eine „durch keine einzige Thatsache gestütztes“ Hirngespinnst abzusprechen.

Das Urtheil über ein solches Verfahren kann ich dem Leser anheimstellen. Hr. Budge aber wird künftig wohlthun, das Ende abzuwarten, ehe er sich mit seinen Lorbeeren brüstet. In der Vorrede zur letzten Auflage seines „Lehrbuches der speciellen Physiologie“ (1862, S. VIII. IX) wird das Gesetz des Muskelstromes als ein warnendes Beispiel davon genannt,

wie die „physikalische Schule“ hinter dem Prunk von Apparaten, Zahlen, Curven und Formeln, Lehren zur Geltung bringe, deren Unrichtigkeit bei vorurtheilsfreier Prüfung (durch Männer, wie Hr. Budge) ausserordentlich leicht erkannt würde, so dass man sich nur wundern könne, wie man dies so lange Zeit übersehen habe. Hr. Budge wird sich nun wohl nach einem anderen Beispiel umsehen müssen. Uns ist er ein neues Beispiel dafür, dass thierisch-elektrische Versuche nicht Jedermanns Sache sind[1]).

1) Der XV. Band der Zeitschrift für rationelle Medicin von Henle und Pfeuffer (3. Reihe, 1862) enthält (S. 205 — 253) einen Aufsatz von Hrn. Valentin in Bern über den Muskelstrom, worin dieser Physiologe die von Hrn. Budge in dessen erster Mittheilung behaupteten Thatsachen ausnahmslos bestätigt, dessen Lehre annimmt und auf viele Muskeln des Frosches und warmblütiger Thiere ausdehnt. Hr. Valentin hat bei einer früheren Gelegenheit, wo ich ihm auf diesem Gebiete entgegentreten musste, einige Selbsterkenntniss an den Tag gelegt. Ich habe daher das Vertrauen zu ihm, er werde aus der gegenwärtigen Abhandlung, auch ohne umständlichen Beweis meinerseits, die Einsicht schöpfen, dass seine Behandlung des Gegenstandes unzureichend ist, dass seine Beobachtungen anders zu deuten, und seine Schlüsse nichtig sind.

Anmerkung. Das Streben nach Kürze hat mich in gegenwärtiger Abhandlung zu einem zweideutigen Gebrauch des Wortes „Spannung“ verführt. Ursprünglich habe ich so, mit Kirchhoff, Helmholtz u. A., das Potential der freien Elektricität an einer bestimmten Stelle der Kette, Ohm's elektroskopische Kraft, genannt; so, wenn ich sagte: die Neigungsstrom-Spannung stufe sich von der stumpfen Ecke zur spitzen Ecke des Muskelrhombus ab u. d. m. Von S. 593 an aber bin ich, um die schleppende Redensart: die dem Neigungsstrome zu Grunde liegende oder ihn erzeugende elektromotorische Kraft, deren ich fortwährend bedurfte, zu vermeiden, häufig zu dem Ohm'schen Gebrauch des Wortes Spannung zurückgekehrt, indem ich damit den Unterschied der Spannungen zweier Stellen im ersteren Sinne bezeichnete; so, wenn ich von der oberen künstlichen Stromspannung, oder der oberen künstlichen Spannung schlechthin, sprach. Andere Male ist der letzteren Art von Grösse, mit Bezug auf die erste Redeweise, richtig als Spannungsunterschiedes gedacht. Es wird genügen, im Allgemeinen auf diesen Fehler hinzuweisen, um ihn im einzelnen Falle unschädlich zu machen.

Das Pluszeichen bedeutet die auf-, das Minuszeichen die absteigende Richtung des Stromes im Muskel.

Tabelle I. (S. 561.)

Elektromotorische Kräfte in Compensatorgraden.			Querschnitt senkrecht. 0	1	2	3		Querschnitt schräg. 0	1	2	3
R. int.	Ob. Sp.	A.	− 219	− 343	− 368	− 289	C.	− 159	− 159	− 138	− 106
	Unt. Sp.	B.	+ 452	+ 461	+ 371	+ 159	D.	+ 219	+ 218	+ 137	+ 99
Sartor.	Ob. Sp.	A.	− 402	− 403	− 401	− 377	C.	− 304	− 301	− 263	− 281
	Unt. Sp.	B.	+ 385	+ 304	+ 314	+ 272	D.	+ 348	+ 309	+ 353	+ 220
Add. m.	Ob. Sp.	A.	− 445	− 423	− 373	− 445	C.	− 296	− 244	− 203	− 245
	Unt. Sp.	B.	+ 408	+ 365	+ 392	+ 375	D.	+ 267	+ 312	+ 328	+ 226
Semim.	Ob. Sp.	A.	− 392	− 411	− 398	− 369	C.	− 340	− 372	− 379	− 302
	Unt. Sp.	B.	+ 395	+ 400	+ 431	+ 436	D.	+ 443	+ 334	+ 291	+ 332
Mittel der absol. Werthe			387,3	388,8	381,0	340,3		297,0	281,1	261,5	226,3

Tabelle II. (S. 561—562.)

Elektromotorische Kräfte in Compensatorgraden.			Querschnitt senkrecht.	schräg.	senkrecht.	schräg.	senkrecht.	schräg.
R. intern.	A.	Ob. Sp.	− 240	− 90	− 186	− 119	− 114	− 42
	B.	Unt. Sp.	+ 206	+ 136	+ 147	+ 134	+ 117	+ 59
Sartor.	A.	Ob. Sp.	− 339	− 246	− 270	− 175	− 190	
	B.	Unt. Sp.	+ 293	+ 250	+ 317	+ 298	+ 301	
Add. m.	A.	Ob. Sp.	− 249	− 108	− 179	− 158		
	B.	Unt. Sp.	+ 284	+ 278	+ 408	+ 225		
Semim.	A.	Ob. Sp.	− 402	− 323	− 351	− 228		
	B.	Unt. Sp.	+ 330	+ 304	+ 357	+ 241		
Mittel der absol. Werthe			292,9	216,9	276,9	197,3	180,5	50,5

Tabelle III. (S. 655—658; 672; 701.)

Gastroknemius				I. Vor	I. Nach	II. Vor	II. Nach	III. Vor	III. Nach	IV. Vor	IV. Nach	V. Vor	V. Nach
Elektromotorische Kräfte in Compensatorgraden.				Zerstörung der parelektronomischen Schicht.									
Zwischen sehnigen Enden				− 67		+ 19		+ 44		+ 99		+ 208	
Muskel durch zwei symmetrische Querschnitte begrenzt.	Obere Spannung.	Grösste	Spannweite.	− 130	− 78	− 249	+ 181	− 213	+ 143	− 242	+ 117	− 153	+ 210
		Mittlere		− 84	− 15	− 328	− 5	− 310	− 26	− 245	− 92	− 196	− 81
		Kleinste		− 31	− 14	− 231	− 169	− 220	− 90	− 172	− 151	− 153	− 146
			Mittel	− 81,7	− 35,7	− 269,3	+ 2,3	− 247,7	+ 9,0	− 219,7	− 42,0	− 167,3	− 5,7
	Untere Spannung.	Grösste	Spannweite	− 9	+ 57	+ 237	+ 621	+ 244	+ 483	+ 348	+ 640	+ 259	+ 696
		Mittlere		+ 35	+ 48	+ 324	+ 501	+ 364	+ 511	+ 315	+ 499	+ 279	+ 614
		Kleinste		+ 79	+ 92	+ 252	+ 357	+ 268	+ 219	+ 259	+ 286	+ 255	+ 293
			Mittel	+ 35,0	+ 65,7	+ 271,0	+ 493,0	+ 292,0	+ 404,3	+ 307,3	+ 475,0	+ 264,3	+ 534,3
	Zwischen künstl. Querschn.			− 56	+ 32	− 17	+ 316	+ 19	+ 265	+ 69	+ 361	+ 118	+ 396

Tabelle VII. (S. 690.)

Stromstärken in Scalentheilen.	Muskel durch zwei symmetrische Querschnitte begrenzt, durchschnitten im:		I. A. (Aequator) zwischen d. beiden Querschn.	I. A.	I. B. zw.	I. B.	II. A. zw.	II. A.	II. B. zw.	II. B.	III. A. zw.	III. A.	III. B. zw.	III. B.	IV. A. (Hilus) zw.	IV. A.	IV. B. zw.	IV. B.	V. A. zw.	V. A.	V. B. zw.	V. B.
R. int.	Unzertheilter Muskel.	Ob. Abschn.	+ 10	+ 5	− 7	+ 18	+ 31	+ 8	+ 6	+ 5	+ 14	+ 14	− 6	0	− 3	+ 14	− 2	+ 7	+ 15	+ 8	+ 13	+ 5
		Unt. Abschn.		+ 15		− 7		+ 11		− 10		+ 7		+ 7		− 14		+ 8		− 1		+ 4
Sartorius	Unzertheilter Muskel.	Ob. Abschn.	− 5	+ 1	− 3	− 14	+ 13	− 4	+ 1	+ 5	+ 16	− 11	+ 30	− 2	− 25	− 14	− 5	− 8	+ 21	− 14	+ 5	− 4
		Unt. Abschn.		− 17		+ 1		+ 11		+ 14		− 4		− 12		− 11		− 17		− 2		+ 9
Add. m.	Unzertheilter Muskel.	Ob. Abschn.	+ 23	+ 17	+ 38	+ 15	+ 29	− 18	− 22	− 45	− 36	− 12	− 5	− 21	− 18	+ 9	− 1	0	+ 7	− 20	− 22	− 35
		Unt. Abschn.		+ 63		+ 22		+ 44		+ 103		+ 81		+ 67		+ 45		+ 44		+ 60		+ 67
Semim.	Unzertheilter Muskel.	Ob. Abschn.	− 41	− 14	− 51	+ 12	− 71	− 3	− 59	− 22	− 11	+ 24	− 85	− 36	− 70	− 6	− 79	+ 7	− 30	+ 3	− 74	+ 11
		Unt. Absch.		− 18		− 63		− 36		+ 33		− 37		− 50		− 53		− 67		− 2		− 50

Tabelle IX. (S. 692—694.)

Stromstärken in Scalenth.	Muskel durch zwei symmetr. Querschnitte begrenzt.		I. A.		I. B.		II. A.		II. B.		III. A.		III. B.		IV. A.		IV. B.		V. A.		V. B.		Mittel.	
R. int.	Zwischen symmetr. Längsschnittsp.	Ob. Str.	− 12	− 69	+ 3	− 88	+ 37	− 68	− 35	− 74	− 13	− 25	− 4	− 30	+ 61	− 122	− 18	− 73	− 6	− 39	+ 29	− 124	+ 4,2	− 71,2
		Unt. Str.		+ 69		+ 131		+ 113		+ 154		+ 34		+ 84		+ 103		+ 81		+ 83		+ 134		+ 98,6
Sartor.	Zwischen symmetr. Längsschnittsp.	Ob. Str.	− 20	− 267	− 13	− 224	+ 21	− 157	− 24	− 164	+ 36	− 199	− 63	− 145	+ 69	− 239	− 2	− 171	+ 30	− 88	− 35	− 176	− 0,1	− 183,0
		Unt. Str.		+ 188		+ 226		+ 158		+ 209		+ 171		+ 255		+ 160		+ 134		+ 83		+ 179		+ 176,3
Add. m	Zwischen symmetr. Längsschnittsp.	Ob. Str.	+ 27	− 299	+ 8	− 346	+ 25	− 365	− 30	− 250	+ 35	− 268	− 2	− 210	+ 20	− 335	0	− 269	+ 11	− 183	+ 5	− 289	+ 9,9	− 281,4
		Unt. Str.		+ 233		+ 336		+ 314		+ 314		+ 240		+ 276		+ 266		+ 285		+ 115		+ 235		+ 261,4
Semim.	Zwischen symmetr. Längsschnittsp.	Ob. Str.	− 1	− 314	− 4	− 397	− 30	− 347	+ 9	− 381	− 20	− 340	− 31	− 313	+ 10	− 408	− 1	− 350	− 18	− 217	+ 10	− 272	− 7,6	− 333,9
		Unt. Str.		+ 197		+ 261		+ 256		+ 269		+ 245		+ 200		+ 222		+ 264		+ 153		+ 167		+ 223,4

Tabelle X. (S. 656—659; 674, 675; 693—695; 697; 700—702.)

Elektrom. Kräfte in Compensatorgraden.	Muskel durch zwei symmet. Querschnitte begrenzt.	I. A.	I. B.	II. A.	II. B.	III. A.	III. B.	IV. A.	IV. B.	V. A.	V. B.	Mittel.	Verhältniss der Mittel.
R. intern.	Obere Spann.	− 104	− 174	− 107	− 72	− 50	− 339	− 167	− 298	− 94	− 132	− 153,7	− 1,000
	Untere Spann.	+ 172	+ 263	+ 99	+ 145	+ 154	+ 213	+ 233	+ 435	+ 98	+ 216	+ 202,8	+ 1,319
Sartorius	Obere Spann.	− 322	− 351	− 168	− 176	− 332	− 368	− 376	− 424	− 211	− 302	− 303,0	− 1,030
	Untere Spann.	+ 346	+ 329	+ 171	+ 177	+ 284	+ 311	+ 405	+ 447	+ 215	+ 257	+ 294,2	+ 1,000
Add. m.	Obere Spann.	− 371	− 356	− 222	− 374	− 414	− 423	− 445	− 463	− 315	− 382	− 376,5	− 1,007
	Untere Spann.	+ 374	+ 411	+ 246	+ 341	+ 371	+ 408	+ 433	+ 448	+ 333	+ 375	+ 374,0	+ 1,000
Semim.	Obere Spann.	− 420	− 448	− 260	− 341	− 433	− 404	− 522	− 459	− 376	− 441	− 410,4	− 1,123
	Untere Spann.	+ 423	+ 348	+ 234	+ 306	+ 374	+ 334	+ 444	+ 371	+ 348	+ 371	+ 365,3	+ 1,000

	Parel. Schicht	I. A. unzerst.	zerst.	I. B. unzerst.	zerst.	II. A. unzerst.	zerst.	II. B. unzerst.	zerst.	III. A. unzerst.	zerst.	III. B. unzerst.	zerst.	IV. A. unzerst.	zerst.	IV. B. unzerst.	zerst.	V. A. unzerst.	zerst.	V. B. unzerst.	zerst.	Mittel unzerst.	zerst.	Verhältniss unzerst.	zerst.
Triceps	Obere Spann.	− 263	− 136	− 317	− 214	− 165	− 87	− 287	− 73	− 139	+ 36	− 336	− 141	− 319	− 53	− 324	− 107	− 181	− 57	− 122	− 70	− 245,3	− 97,4	− 1,000	1,000
	Untere Spann.	+ 282	+ 310	+ 318	+ 267	+ 216	+ 233	+ 321	+ 210	+ 284	+ 168	+ 262	+ 172	+ 172	+ 180	+ 240	+ 307	+ 317	+ 296	+ 167	+ 237	+ 257,9	+ 238,0	+ 1,051	+ 2,111
Gastrokn.	Obere Spann.	− 218	− 69	− 214	+ 45	− 176	− 120	− 58	− 22	− 161	+ 59	− 243	+ 74	− 298	− 77	− 287	+ 38	− 97	− 46	− 167	131	− 191,9	− 33,9	− 1,000	− 1,000
	Untere Spann.	+ 342	+ 567	+ 309	+ 518	+ 345	+ 461	+ 260	+ 464	+ 272	+ 382	+ 299	+ 421	+ 367	+ 543	+ 372	+ 435	+ 403	+ 482	+ 346	+ 541	+ 331,5	+ 481,1	+ 1,727	+ 14,121

Das Pluszeichen bedeutet die auf-, das Minuszeichen die absteigende Richtung des Stromes im Muskel.

Tabelle IV. (S. 675 – 680; 688, 689; 692 – 700.)

Strom-stärken in Scalen-theilen	Muskel unversehrt. Zwischen sehnigen Enden.	Zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten.	Zwischen Aequator u. Längsschnittspunct dem {unteren sehnigen Ende / oberen nahe.	Unterer / Oberer natürlicher Strom.	Muskel durch zwei künstliche Querschnitte begrenzt. Zwischen symmetrischen Querschnitten.	Zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten.	Zwischen Aequator u. Längsschnittspunct dem {unteren künstlichen Querschnitt / oberen nahe.	Unterer / Oberer künstlicher Strom.
	Rectus internus.							
I. A.	+ 17	− 5	+ 7 + 26	− 1 + 28	+ 29	− 11	− 2 + 36	− 42 + 136
I. B.	+ 6	+ 7	+ 2 + 20	− 6 + 32	+ 28	+ 3	− 24 + 24	− 52 + 118
II. A.	+ 2	− 61	− 16 + 9	− 11 + 23	+ 7	− 56	− 34 + 22	− 56 + 116
II. B.	− 14	− 4	− 26 + 17	− 33 + 21	+ 33	− 6	− 28 + 27	− 71 + 172
III. A.	− 10	+ 27	− 5 + 17	− 35 + 21	+ 16	+ 27	+ 8 + 26	− 47 + 89
III. B.	− 7	+ 32	+ 12 − 21	− 12 + 3	+ 23	+ 25	+ 21 + 22	− 21 + 63
IV. A.	− 11	− 9	− 12 − 2	− 24 + 12	− 2	− 15	− 23 0	− 36 + 29
IV. B.	− 16	− 24	− 8 − 30	− 17 − 15	+ 23	− 21	− 3 − 2	− 18 + 48
V. A.	+ 7	+ 20	+ 2 + 11	− 3 + 18	+ 11	+ 18	− 14 + 13	− 42 + 103
V. B.	+ 8	+ 4	+ 4 + 10	− 3 + 19	+ 28	+ 19	− 8 + 35	− 48 + 84
Mittel	− 1,8	− 1,3	− 4,0 + 5,7	− 14,5 + 16,2	+ 19,6	− 1,7	− 10,7 + 20,3	− 43,3 + 95,8
	Sartorius.							
I. A.	− 11	+ 18	− 16 + 23	− 32 + 23	− 10	− 10	− 60 − 40	− 218 + 230
I. B.	− 28	− 17	− 35 0	− 63 + 4	− 17	− 19	− 59 + 22	− 244 + 211
II. A.	− 11	− 16	− 16 − 4	− 21 + 2	− 19	− 15	− 86 + 42	− 242 + 247
II. B.	− 8	− 24	− 16 − 5	− 18 − 2	− 11	− 22	− 48 + 39	− 237 + 208
III. A.	− 16	− 14	+ 28 − 21	+ 15 − 19	+ 13	− 38	− 31 + 24	− 82 + 121
III. B.	− 31	+ 13	+ 16 − 8	− 57 + 2	+ 5	+ 13	− 40 + 14	− 141 + 141
IV. A.	0	+ 33	− 12 + 23	− 26 + 21	− 3	+ 34	− 3 + 12	− 99 + 96
IV. B.	− 18	− 1	0 − 21	− 10 − 17	− 16	0	− 38 + 14	− 104 + 101
V. A.	− 30	− 6	− 28 − 9	− 57 + 6	+ 9	− 7	− 52 + 38	− 225 + 265
V. B.	− 33	− 9	− 43 − 33	− 48 − 8	− 7	− 15	− 31 + 25	− 122 + 160
Mittel	− 18,6	− 2,3	− 12,2 − 5,5	− 27,7 + 1,2	− 5,6	− 7,9	− 44,8 + 27,0	− 171,4 + 178,0
	Adductor magnus.							
I. A.	− 13	+ 27	− 32 + 31	− 77 + 54	− 80	+ 18	− 35 + 57	− 374 + 332
I. B.	+ 1	+ 14	− 37 + 30	− 62 + 50	− 22	+ 12	− 59 + 87	− 328 + 381
II. A.	− 16	− 4	− 44 + 13	− 56 + 41	− 18	− 11	− 83 + 41	− 404 + 408
II. B.	− 9	− 8	− 13 + 10	− 42 + 32	− 5	− 1	− 59 + 54	− 383 + 395
III. A.	+ 1	− 5	− 25 + 22	− 68 + 76	− 10	− 2	− 63 + 82	− 287 + 333
III. B.	+ 3	+ 10	− 33 + 29	− 82 + 102	− 46	+ 3	− 55 + 55	− 310 + 254
IV. A.	− 5	+ 29	− 21 + 15	− 45 + 49	+ 12	+ 36	− 26 + 62	− 290 + 272
IV. B.	+ 30	+ 40	− 8 + 83	− 42 + 112	− 1	+ 19	− 24 + 71	− 296 + 267
V. A.	− 7	− 6	− 53 + 17	− 78 + 44	+ 5	− 25	+ 83 + 77	− 335 + 311
V. B.	− 24	− 8	− 35 + 11	− 64 + 27	− 27	− 7	− 51 + 76	− 344 + 325
Mittel	− 3,9	+ 8,9	− 30,1 + 26,1	− 61,6 + 58,7	− 19,2	+ 6,7	− 37,2 + 66,2	− 335,1 + 327,8
	Semimembranosus.							
I. A.	− 6	+ 24	− 19 + 61	− 49 + 53	− 37	+ 5	− 35 + 37	− 313 + 226
VI. A.	− 54	+ 20	− 25 + 46	− 77 + 33	− 25	+ 5	− 87 + 31	− 330 + 208
II. A.	− 42	− 6	− 32 + 2	− 76 0	− 69	− 9	− 35 + 17	− 371 + 234
VI. B	− 50	+ 13	− 33 + 21	− 159 + 19	− 54	− 20	− 86 + 37	− 308 + 209
III. A.	− 14	− 15	− 14 − 16	− 62 − 13	− 49	− 1	− 28 + 18	− 295 + 233
III. B.	− 51	− 4	− 65 + 43	− 112 + 35	− 23	− 4	− 22 + 18	− 262 + 224
IV. A.	− 10	+ 4	− 95 + 34	− 150 + 68	− 6	+ 7	− 39 + 29	− 293 + 204
IV. B.	− 52	+ 14	− 39 + 58	− 133 + 39	− 44	+ 5	− 95 + 18	− 246 + 177
V. A.	− 59	+ 1	− 47 + 46	− 127 + 39	+ 12	− 4	− 42 + 43	− 375 + 289
VII. A.	− 4	+ 30	− 41 + 62	− 82 + 60	− 27	+ 4	− 53 + 98	− 377 + 298
Mittel	− 34,2	+ 8,1	− 41,0 + 35,7	− 94,5 + 33,3	− 32,2	− 1,2	− 52,2 + 34,1	− 317,0 + 230,2

Anhang: Mittel aus allen gleichbedeutenden Versuchen in Tab. IV — VII. u. IX. (S. 700.)

Zahl der Versuche.	(30)	(20)	(20)	(20)	(30)	(20)	(10)	(30)
R. int.	− 3,9	+ 3,0	+ 1,2 + 4,0	− 13,9 + 15,7	+ 10,0	+ 1,2	− 10,7 + 20,3	− 52,3 + 86,0
Sart.	− 15,6	+ 3,1	− 15,7 + 13,6	− 41,3 + 13,6	− 3,4	− 4,0	− 44,8 + 27,0	− 172,1 + 165,9
Add.m.	+ 7,6	+ 9,4	− 32,2 + 26,2	− 73,2 + 76,7	− 14,1	+ 8,3	− 37,2 + 66,2	− 295,9 + 284,2
Sem.	− 24,2	+ 10,2	− 48,9 + 28,2	− 110,6 + 45,8	− 42,0	− 4,4	− 52,2 + 34,1	− 310,8 + 218,2

Tabelle V. (S. 675 — 684.)

Strom-stär-ken in Sca-len theilen	Parelektronomische Schicht unzerstört. Zwischen sehnigen Enden.	Zwischen symmetrischen Längsschnittspuncten.	Zwischen Aequator u. Längsschnittspunct dem {unteren sehnigen Ende / oberen nahe.	Unterer / Oberer natürlicher Strom.	Derselbe / Derselbe nach einem Kochsalzbade.	Zuwachs durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht.	zerstört. Zwischen sehnigen Enden.
	Rectus internus.						
I. A.	− 7	− 7	− 13 − 9	− 27 + 20	− 22 + 21	+ 5 + 1	− 1
I. B.	− 32	− 2	− 12 − 21	− 34 − 2	− 47 + 25	− 13 + 27	− 16
II. A.	− 19	− 14	− 5 − 10	− 23 − 1	− 19 + 11	+ 4 + 12	− 4
II. B.	+ 28	+ 60	+ 47 + 16	+ 23 + 11	− 14 + 47	− 37 + 36	+ 6
III. A.	+ 15	+ 2	− 2 − 6	− 6 + 29	− 26 + 45	− 20 + 16	− 1
III. B.	+ 1	+ 10	+ 17 + 3	− 4 + 14	− 21 + 21	− 17 + 7	− 3
IV. A.	+ 14	− 10	+ 6 − 2	0 + 26	− 25 + 32	− 25 + 6	− 12
IV. B.	− 18	+ 25	+ 14 + 18	− 20 0	− 37 + 34	− 17 + 34	− 2
V. A.	+ 15	+ 17	+ 16 + 51	+ 3 + 30	− 52 + 95	− 55 + 65	+ 21
V. B.	− 13	− 7	− 3 − 18	− 44 + 25	− 50 + 23	− 6 − 2	− 8
Mittel	− 1,6	+ 7,4	+ 6,5 + 2,2	− 13,2 + 15,2	− 31,3 + 35,4	− 18,1 + 20,2	− 2,0
	Sartorius.						
I. A.	− 25	− 31	− 27 + 30	− 43 − 14	− 89 + 51	− 46 + 65	− 4
I. B.	− 52	+ 12	− 11 − 7	− 74 − 11	− 116 + 83	− 42 + 94	− 9
II. A.	− 3	+ 47	− 37 + 63	− 84 + 74	− 67 + 88	+ 17 + 14	+ 29
II. B.	+ 25	+ 5	− 2 + 21	− 23 + 41	− 43 + 49	− 20 + 8	+ 13
III. A.	− 4	+ 24	+ 21 + 13	− 23 + 2	− 24 + 20	− 1 + 18	+ 4
III. B.	+ 16	− 1	− 15 + 107	− 57 + 91	− 89 + 64	− 32 − 27	− 11
IV. A.	− 4	+ 33	− 26 + 16	− 14 − 10	− 27 + 46	− 13 + 56	+ 23
IV. B.	− 45	− 67	− 54 − 23	− 67 + 9	− 47 + 58	+ 20 + 49	+ 18
V. A.	− 5	+ 45	− 31 + 67	− 89 + 65	− 105 + 98	− 16 + 33	− 9
V. B.	− 50	+ 18	− 11 + 40	− 75 + 13	− 70 + 31	+ 5 + 18	− 17
Mittel	− 14,7	+ 8,5	− 19,3 + 32,7	− 54,9 + 26,0	− 67,7 + 58,8	− 12,8 + 32,8	+ 3,7
	Adductor magnus.						
I. A.	− 47	+ 14	− 11 − 22	− 94 + 22	− 130 + 118	− 36 + 96	− 7
I. B.	+ 12	+ 13	− 49 + 34	− 88 + 150	− 126 + 195	− 38 + 45	+ 62
II. A.	+ 25	+ 3	− 54 + 60	− 66 + 90	− 88 + 138	− 22 + 48	+ 8
II. B.	− 25	− 15	− 130 + 60	− 209 + 136	− 179 + 213	+ 30 + 77	+ 42
III. A.	+ 41	+ 57	+ 21 + 49	− 20 + 69	− 134 + 182	− 114 + 113	+ 57
III. B.	− 6	+ 12	− 80 + 15	− 112 + 92	− 169 + 202	− 57 + 110	+ 64
IV. A.	− 53	− 8	− 40 + 22	− 134 + 46	− 150 + 184	− 16 + 138	+ 49
IV. B.	+ 58	+ 34	+ 28 + 84	− 21 + 141	− 115 + 146	− 94 + 5	+ 96
V. A.	+ 38	+ 26	− 9 + 42	− 56 + 166	− 119 + 171	− 63 + 5	+ 61
V. B.	− 8	+ 22	− 19 + 19	− 49 + 36	− 112 + 141	− 63 + 105	− 5
Mittel	+ 3,5	+ 14,8	− 34,3 + 26,3	− 84,9 + 94,8	− 132,2 + 170,0	− 47,3 + 75,2	+ 42,7
	Semimembranosus.						
I. A.	− 18	− 21	− 8 − 2	− 74 + 32	− 109 + 84	− 35 + 52	− 13
VI. A.	− 43	− 17	− 149 + 19	− 187 + 89	− 221 + 114	− 34 + 25	− 64
II. A.	− 44	+ 17	− 23 + 12	− 184 + 37	− 147 + 63	+ 37 + 26	− 29
II. B.	− 3	+ 45	− 128 + 82	− 201 + 124	− 216 + 120	− 15 − 4	− 57
III. A.	− 5	+ 76	− 41 + 35	− 179 + 101	− 158 + 110	+ 21 + 9	− 5
III. B.	+ 14	+ 32	− 25 + 63	− 111 + 103	− 176 + 85	− 65 − 18	− 71
IV. A.	− 24	− 8	− 37 + 8	− 92 + 5	− 177 + 69	− 85 + 64	− 30
IV. B.	− 32	+ 1	− 64 + 14	− 136 + 16	− 209 + 61	− 79 + 45	− 29
V. A	+ 33	+ 10	− 60 + 12	− 67 + 81	− 87 + 96	− 20 + 15	+ 1
V. B.	− 29	− 12	− 34 − 36	− 72 − 4	− 114 + 67	− 42 + 71	− 9
Mittel	− 15,1	+ 12,3	− 56,9 + 20,7	− 129,7 + 58,4	− 161,4 + 86,9	− 31,7 + 28,5	− 30,6

Tabelle VI. (S. 675, 676; 688 — 690; 693, 694.)

Stromstärken in Scalen-theilen.	Zwischen sehnigen Enden.	Unterer / Oberer künstlicher Strom.	Zwischen symmetrischen Querschnitten I.	II.	III.	IV.	V.
	Rectus internus.						
I. A.	0	− 16 + 24	+ 1	− 4	− 7	− 7	
I. B.	0	− 52 + 77	+ 12	+ 13	0	+ 1	− 3
II. A.	− 23	− 48 + 77	− 7	+ 4	+ 15	+ 2	− 10
II. B.	− 9	− 56 + 77	− 8	+ 26	+ 3	+ 11	0
III. A.	− 6	− 43 + 51	+ 1	+ 10	− 6	− 2	
III. B.	− 10	− 38 + 68	+ 3	+ 13	+ 17	+ 14	− 5
IV. A.	− 4	− 33 + 53	+ 5	+ 2	+ 4	− 8	
IV. B.	− 14	− 23 + 69	+ 24	+ 5	+ 6	− 4	− 11
V. A.	− 2	− 52 + 72	+ 10	+ 8	+ 10	+ 18	+ 10
V. B.	− 16	− 62 + 68	− 8	+ 2	+ 3	− 7	
Mittel	− 8,4	− 42,3 + 63,6	+ 3,3	+ 7,9	+ 4,5	+ 1,8	− 3,1
	Sartorius.						
I. A.	+ 15	− 106 + 102	− 15	+ 30	+ 5	+ 10	+ 4
I. B.	− 52	− 167 + 107	+ 21	− 4	− 9	+ 13	− 13
II. A.	− 29	− 202 + 173	+ 4	− 14	+ 28	− 2	+ 18
II. B.	+ 11	− 154 + 109	− 14	− 2	+ 4	+ 9	− 12
III. A.	+ 6	− 171 + 182	+ 3	− 14	− 17	− 17	− 16
III. B.	− 12	− 208 + 207	+ 5	+ 3	− 12	+ 24	
IV. A.	− 45	− 126 + 135	− 12	− 1	+ 2	− 6	
IV. B.	− 17	− 126 + 133	− 6	+ 7	+ 11	− 12	
V. A.	− 10	− 148 + 145	+ 2	0	0	+ 2	0
V. B.	− 3	− 210 + 140	− 14	− 10	+ 27		
Mittel	− 13,6	− 161,8 + 143,3	− 2,6	− 0,5	+ 3,9	+ 2,4	− 3,1
	Adductor magnus.						
I. A.	+ 29	− 213 + 238	− 5	− 35	− 43	− 47	
I. B.	− 36	− 285 + 304	− 6	+ 50	+ 10	+ 6	
II. A.	+ 35	− 316 + 296	− 43	− 57	− 73	− 6	
II. B.	+ 27	− 373 + 354	− 51	− 48	− 45	− 35	
III. A.	+ 33	− 203 + 223	− 25	− 10	0	− 5	
III. B.	+ 12	− 249 + 235	− 16	+ 2	− 12		
IV. A.	+ 57	− 252 + 247	− 31	− 3	− 10	− 13	
IV. B.	+ 40	− 244 + 251	− 31	− 55	− 36	− 19	
V. A.	+ 42	− 274 + 216	− 12	− 5	− 21	− 55	
V. B.	− 5	− 304 + 270	− 3	− 3	− 44	− 40	
Mittel	+ 23,4	− 271,3 + 263,4	− 22,3	− 16,4	− 28,4	− 24,0	
	Semimembranosus.						
I. A.		− 270 + 178	− 47	− 57	− 39	− 33	
I. B.	− 44	− 272 + 186	− 15	− 28	− 17	− 6	
II. A.		− 272 + 223	− 23	− 38	− 51	− 25	
II. B.	− 10	− 338 + 212	− 69	− 50	− 33	− 43	
III. A.	− 25	− 295 + 193	− 30	− 15	− 31	− 20	
III. B.	− 6	− 284 + 209	− 37	− 10	− 18	− 3	
IV. A.		− 264 + 205	− 30	− 19	− 33		
IV. B.	− 37	− 268 + 197	− 38	− 9	− 20		
V. A.		− 261 + 183	− 45	− 49	− 26	− 48	
V. B.	− 19	− 293 + 224	− 33	− 28	− 33	− 65	
Mittel	− 23,5	− 281,6 + 201,0	− 36,7	− 30,3	− 31,1	− 30,4	

Tabelle VIII. (S. 691.)

Strom-stärken in Scalenth.	Muskel durch zwei symmetr. Querschn. begrenzt, im Aequator durchschnitten nach		I. A. (6h)	I. B. (6h)	II. A. (16h)	II. B. (16h)	III. A. (23h)	III. B. (23h)
R. int.	Ob. Abschn.	zwischen d. beiden Querschn.	− 4	− 3	− 3	+ 12	− 1	+ 1
	Unt. Abschn.		+ 13	− 2	+ 2	− 3	+ 7	− 7
Sartor.	Ob. Abschn.	zwischen d. beiden Querschn.	+ 4	+ 15	− 6	—	− 12	+ 7
	Unt. Abschn.		− 3	− 5	− 18	—	− 11	− 16
Add. m.	Ob. Abschn.	zwischen d. beiden Querschn.	+ 8	− 6	− 9	− 3	− 13	+ 3
	Unt. Abschn.		+ 38	+ 67	+ 73	+ 31	+ 78	+ 83
Semim.	Ob. Abschn.	zwischen d. beiden Querschn.	+ 14	− 4	− 9	− 10	− 8	+ 3
	Unt. Abschn.		− 25	+ 5	+ 4	+ 13	+ 25	+ 9

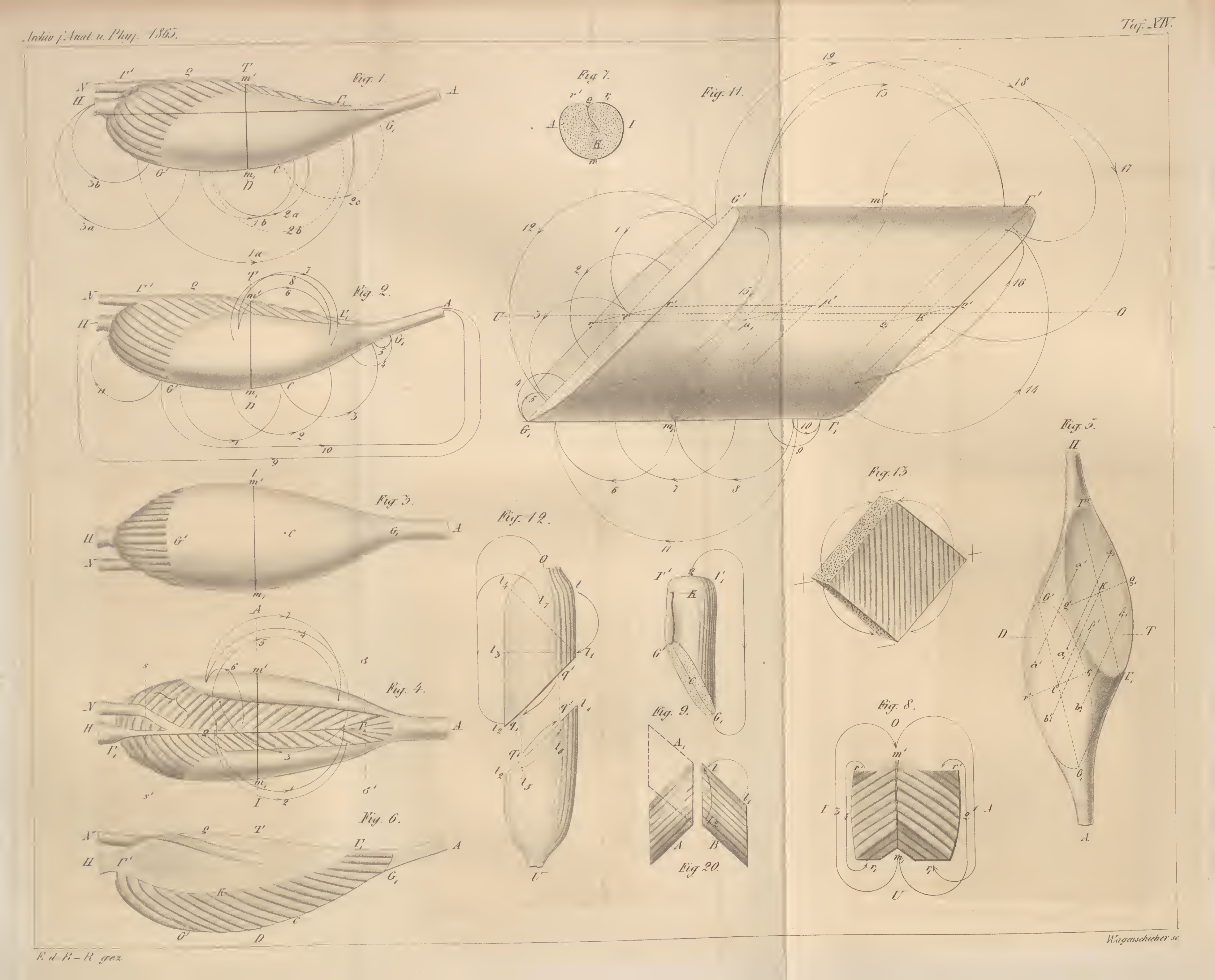


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 20.
E. d. B.-R. gez.
Wagenschieber sc.

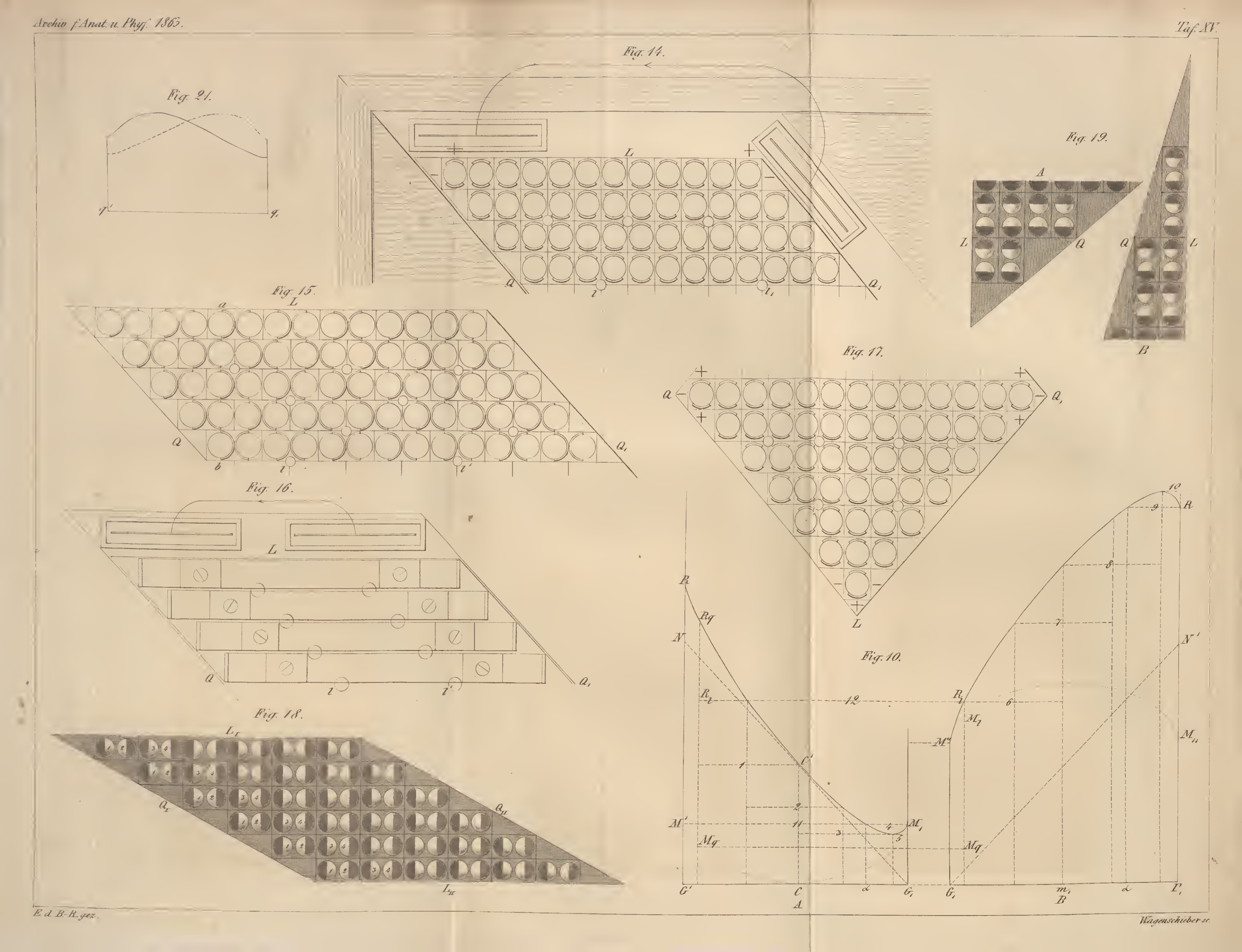


Fig. 21.
q'
q
Fig. 14.
L
Q
l
l,
Q,
Fig. 19.
A
L
Q
Q
L
B
Fig. 15.
a
L
Q
Q,
b
i
i'
Fig. 17.
Q
Q,
L
Fig. 16.
L
Q
l
l'
Q,
Fig. 18.
Fig. 10.
R
Rq
N
N'
R
Rl
12
6
M
M'
M,
Mq
Mq
C'
G'
C
A
G,
G,
B